



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

**ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΟΝΤΟΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ

*«Επίδραση της προσθήκης καδμίου σε καλλιέργεια ρίγανης (*Origanum vulgare*) σε γόνιμα και μη γόνιμα εδάφη»*

ΜΠΑΤΣΙΛΑ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

**Αντωνιάδης Βασίλειος, Αναπληρωτής Καθηγητής Εφαρμοσμένης
Εδαφολογίας**

Βόλος, 2020

«Επίδραση της προσθήκης καδμίου σε καλλιέργεια ρίγανης (*Origanum vulgare*) σε γόνιμα και μη γόνιμα εδάφη»

“Effect of added cadmium in the cultivation of oregano (*Origanum vulgare*) in fertile and non-fertile soils”

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Αντωνιάδης Βασίλειος (Επιβλέπων), Αναπληρωτής Καθηγητής Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Λεβίζου Ευθυμία (Μέλος), Επίκουρη Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Δαναλάτος Νικόλαος (Μέλος), Καθηγητής Γεωργίας-Οικολογίας Φυτών Μεγάλης Καλλιέργειας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

«Βεβαιώνω ότι εγώ, η Μπατσίλα Αλεξάνδρα είμαι η συγγραφέας αυτής της πτυχιακής διατριβής, που εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος».

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αντωνιάδη Βασίλειο για την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε σε όλα τα στάδια της συνεργασίας μας, από τη διεξαγωγή και ομαλή πορεία του πειράματος ως και τη συγγραφή της παρούσας πτυχιακής διατριβής. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Λεβίζου Ευθυμία για τις χρήσιμες συμβουλές που μου έδωσε ώστε να φέρω, με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, εις πέρας το συγκεκριμένο πείραμα, αλλά και τον κ. Δαναλάτο για την εξαιρετική συνεργασία. Επιπροσθέτως, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στο Θαλασσινό Γεώργιο, Υποψήφιο Διδάκτορα στο εργαστήριο της Εδαφολογίας, ο οποίος ήταν δίπλα μου και μου παρείχε τις γνώσεις, τις συμβουλές και τη βοήθειά του συνεχώς. Τέλος, θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω τους φίλους μου και περισσότερο την οικογένειά μου για τη συνεχή στήριξη, την αγάπη και την κατανόηση που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή διατριβή ερευνήθηκε η επίδραση του καδμίου σε φυτά ρίγανης (*Origanum vulgare*) σε εδάφη εμπλουτισμένα και μη με άζωτο. Η μόλυνση από βαρέα μέταλλα αποτελεί φλέγον ζήτημα, καθώς, ιδιαίτερα κοντά σε βιομηχανικές περιοχές, τα ποσοστά της βαίνουν συνεχώς αυξανόμενα. Το κάδμιο, πιο συγκεκριμένα, αποτελεί μη αναγκαίο στοιχείο για τα φυτά και τον άνθρωπο και μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις τόσο στα μέν όσο και στον δε. Για τη διεξαγωγή του πειράματος δημιουργήθηκαν 6 μεταχειρίσεις και κάθε μία απαρτιζόταν από 30 φυτά. Στις μεταχειρίσεις αυτές χορηγήθηκαν δύο επίπεδα αζώτου, 4 και 34 Λιπαντικές Μονάδες και η επιμόλυνση πραγματοποιήθηκε με τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις καδμίου, 0, 20 και 40 ppm. Το πείραμα διήρκεσε περίπου 3,5 μήνες και η συγκομιδή της ρίγανης πραγματοποιήθηκε στο στάδιο της πλήρους ανθοφορίας των φυτών, δηλαδή περί τα τέλη Ιουνίου. Έπειτα, ακολούθησαν οι μετρήσεις υπόγειου και υπέργειο τμήματος του φυτού, που αφορούσαν ξηρό βάρος, ολική συγκέντρωση αζώτου, ολική συγκέντρωση ιχνοστοιχείων, συγκέντρωση και ποσότητα Cd, pH, συντελεστή μεταφοράς (TC) και συντελεστή μετατόπισης (TF). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις παραπάνω μετρήσεις, το N έκανε τα φυτά της ρίγανης πιο ζωτικά και έτσι αυτά μπόρεσαν να συγκρατήσουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cd στο υπέργειο και υπόγειο τμήμα τους, μειώνοντας έτσι τις αρνητικές επιδράσεις του Cd και αυξάνοντας τα όρια ανοχής των φυτών προς αυτό. Επιπροσθέτως, το N ευνόησε και τη συσσώρευση μεγαλύτερης ποσότητας (μg) Cd στα φυτά της ρίγανης, λόγω της αυξημένης βιομάζας που εμφάνισαν τα φυτά, ενώ προς έκπληξη, η χορήγηση Cd δεν επηρέασε την ανάπτυξη των φυτών της ρίγανης και το ξηρό τους βάρος αυξήθηκε τόσο στο υπέργειο όσο και στο υπόγειο τμήμα. Εν κατακλείδι και βασιζόμενοι σε όλα τα παραπάνω, προέκυψε πως η ρίγανη δεν αποτελεί φυτό «υπερσυσσωρευτή», καθώς ο συντελεστής μεταφοράς (TC) και ο συντελεστής μετατόπισης (TF) δεν προσεγγίζουν την τιμή 1, η οποία υποδηλώνει την καταλληλότητα ενός φυτού για χρήση στη φυτοαποκατάσταση εδαφών μολυσμένων από βαρέα μέταλλα.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
Κεφάλαιο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	7
1.1.1 Προέλευση.....	7
1.1.2 Χρήσεις.....	8
1.1.3 Προβλήματα στο περιβάλλον και στη δημόσια υγεία	9
1.1.4 Μορφές βαρέων μετάλλων στο έδαφος.....	11
1.1.5 Επιδράσεις βαρέων μετάλλων στα φυτά	11
1.1.6 Εδαφικές ιδιότητες από τις οποίες εξαρτάται η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων στο έδαφος	13
1.2 ΚΑΔΜΙΟ.....	15
1.2.1 Μέγιστα επιτρεπόμενα όρια.....	15
1.2.2 Χρήσεις καδμίου	16
1.2.3 Προβλήματα στον άνθρωπο και το φυτό	16
1.2.4 Θεραπεία εδαφών έπειτα από μόλυνση με βαρέα μέταλλα	17
1.2.5 Ρύπανση στην Ελλάδα.....	17
1.3 ΡΙΓΑΝΗ.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	22
2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	22
2.2 ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΥΠΕΡΓΕΙΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ	24
2.3 ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ	25
2.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	26
Κεφάλαιο 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	27
Κεφάλαιο 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	51

Κεφάλαιο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

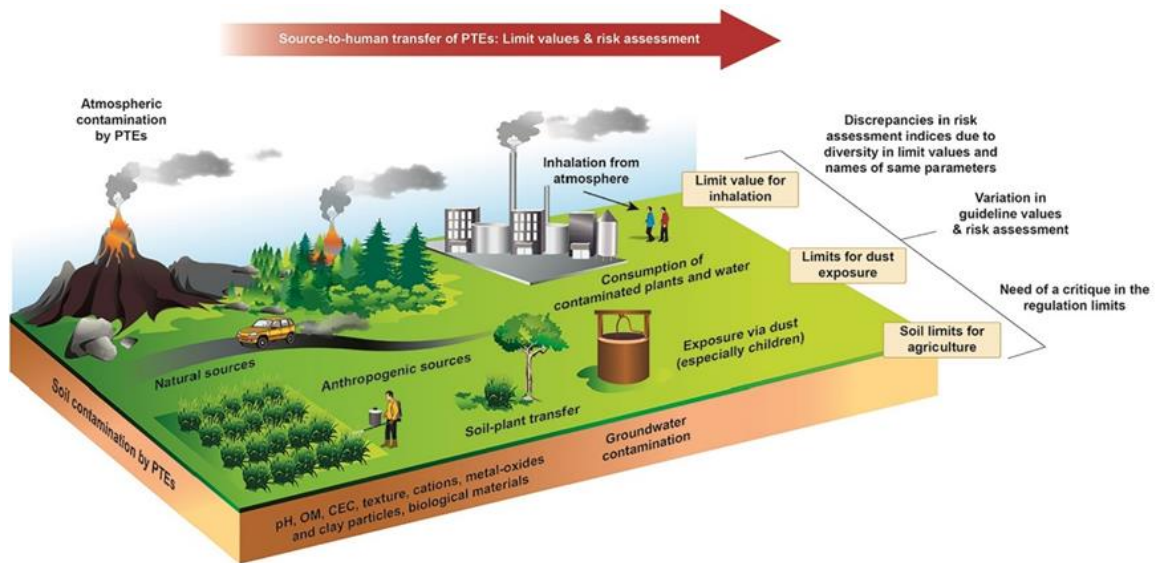
1.1 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Ως «βαρέα μέταλλα» ορίζονται τα ιχνοστοιχεία που παρουσιάζουν μεταλλική φύση και η πυκνότητά τους υπερβαίνει τα 5 g cm^{-3} . Στην κατηγορία αυτή ανήκουν το κάδμιο (Cd), το κοβάλτιο (Co), το χρώμιο (Cr), ο χαλκός (Cu), ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), το μολυβδαίνιο (Mo), το νικέλιο (Ni), ο μόλυβδος (Pb), ο κασσίτερος (Sn), ο ψευδάργυρος (Zn) και το βανάδιο (V) (Antoniadis et al., 2019).

Η ρύπανση που δημιουργούν είναι μη αναστρέψιμη και πολύ επίμονη, ενώ παράλληλα επιδρά πολύ σημαντικά στο οικοσύστημα. Επηρεάζει τις καλλιέργειες και τα τρόφιμα, τα ύδατα και την ατμόσφαιρα και αποτελεί μεγάλο κίνδυνο για την υγεία τόσο των ανθρώπων όσο και των ζώων (Li et al., 2014). Η ύπαρξή τους, συχνά είναι σημαντική για τα φυτά. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις στις οποίες γίνονται τοξικά προς αυτά, ειδικά όταν βρίσκονται πάνω από τα όρια που ορίζονται ως επιτρεπτά (Khanam et al., 2020).

1.1.1 Προέλευση

Τα βαρέα μέταλλα αποτελούν φυσικά συστατικά του φλοιού της Γης, για αυτό και είναι λογικό να υπάρχουν σε μικρές συγκεντρώσεις στα εδάφη (Li et al., 2018). Η προέλευση τους όμως, πλέον, εκτός από φυσική είναι και ανθρωπογενής. Η φυσική προέλευση αφορά πηγές όπως είναι η ηφαιστειακή δραστηριότητα (Antoniadis et al., 2017), τα μητρικά υλικά και τα πετρώματα, ενώ η ανθρωπογενής σχετίζεται με ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η βιομηχανία, η γεωργία και οι κυκλοφοριακοί ρύποι (Jiang et al., 2020). Πιο συγκεκριμένα, η βιομηχανία σχετίζεται με παραγωγή μετάλλων, εξορύξεις και κυρίως καύσεις ορυκτών καυσίμων, οι κυκλοφοριακοί ρύποι αφορούν τη χρήση και κυκλοφορία των μέσων μεταφοράς, αλλά και τα αστικά στερεά απόβλητα (Luo et al., 2015) και η γεωργία σχετίζεται με χρήσεις λιπασμάτων, ανόργανων και οργανικών, κοπριάς, κομπόστ και αρδευτικού νερού (Nicholson et al., 2003).



Εικόνα 1. Πηγές των ιχνοστοιχείων και έκθεση των ανθρώπων σε αυτά: κατάποση, δερματική επαφή, εισπνοή (Antoniadis et al., 2019a).

Τα βαρέα μέταλλα και γενικότερα τα ιχνοστοιχεία που είναι αποτέλεσμα της ανθρωπογενούς δραστηριότητας, παρουσιάζουν πιο μικρή κινητικότητα στην αρχή της δημιουργίας τους, αλλά καθώς περνούν τα χρόνια η βιοδιαθεσιμότητά τους σταδιακά μειώνεται (Antoniadis et al., 2017). Αντίθετα, αυτά που είναι φυσικής προέλευσης, σύμφωνα με τους Shaheen et al., (2017), παρουσιάζουν εξ αρχής μικρή ικανότητα διάλυσης στο εδαφικό διάλυμα και έτσι έχουν μικρή κινητικότητα και βιοδιαθεσιμότητα, εξαιτίας της ισχυρής συγκράτησής τους από συστατικά του εδάφους.

1.1.2 Χρήσεις

Τα βαρέα μέταλλα έχουν ευρεία χρήση, ειδικά στη βιομηχανία. Μερικές από τις χρήσεις τους στο συγκεκριμένο τομέα είναι ορατές στον Πίνακα 1.

Γαλβανισμός	Παραγωγή καυσίμων
Χρώματα	Προστασία έναντι των σκώρων και άλλων εντόμων (Guney et al., 2010)
Σταθεροποιητές πλαστικών	Στεγανοποίηση
Μπαταρίες	Ως απορροφητής ακτίνων X

Κέρματα	Εξόρυξη μεταλλείων
Σωλήνες ύδρευσης	Κάλυμμα καλωδίων

Πίνακας 1. Χρήσεις βαρέων μετάλλων στη βιομηχανία (Αντωνιάδης, 2001).

1.1.3 Προβλήματα στο περιβάλλον και στη δημόσια υγεία

Εξαιτίας της γρήγορα αυξανόμενης εκβιομηχάνισης, αλλά και του συνωστισμού όλο και περισσότερων ανθρώπων στα μεγάλα αστικά κέντρα, η ρύπανση του περιβάλλοντος και του εδάφους παρατηρεί ταχεία αύξηση (Szolnoki et al., 2013). Σύμφωνα με τους Luo et al. (2015), αλλά και τους Jiang et al. (2020), τα βαρέα μέταλλα αποτελούν σημαντικό παράγοντα μόλυνσης, καθώς διακρίνονται από υψηλή τοξικότητα και βιοδιαθεσιμότητα, όπως και από μεγάλη «επιμονή» να παραμένουν στα εδάφη και να μην αποικοδομούνται εύκολα. Χάρη στα χαρακτηριστικά τους αυτά, η ύπαρξη υψηλής συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος, επηρεάζει τόσο την υγεία των ανθρώπων, όσο και το ίδιο το έδαφος (σύστημα έδαφος – φυτό – άνθρωπος).

Αναλυτικότερα, μελέτες έχουν δείξει πως η μηχανική σύσταση του εδάφους επιδρά στην ικανότητα να δημιουργήσουν τοξικότητα ή όχι. Σύμφωνα με μία από αυτές, τα πιο βαριά εδάφη, δηλαδή αυτά που αποτελούνται από μεγάλο ποσοστό ιλύος, έχουν μικρό ποσοστό διαπερατότητας και τα βαρέα μέταλλα έρχονται σε επαφή με τα σωματίδια, μειώνοντας, έτσι, τους κινδύνους τοξικότητας. Παρ' όλα αυτά βέβαια, αυτό δε σημαίνει πως σε αυτά τα εδάφη δεν παρουσιάζεται πρόβλημα μόλυνσης, το οποίο και πρέπει να αντιμετωπιστεί (Andoniadis & McKinley, 2003).

Έτσι, όταν το έδαφος είναι μολυσμένο από βαρέα μέταλλα, όπως το Cd, ο Cu, το Ni και ο Zn, τότε η διαθεσιμότητα αυτών στα φυτά είναι μεγαλύτερη από ότι η κινητικότητα τους. Με τον τρόπο αυτό είναι πολύ πιθανή η αυξημένη μεταφορά και απελευθέρωσή τους στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες και κατ' επέκταση στα τρόφιμα μέσω του μολυσμένου εδάφους (Antoniadis, 2019), δημιουργώντας, έτσι, πολύ δυσμενείς συνθήκες για το περιβάλλον και τον άνθρωπο (El-Naggar et al., 2018). Παράλληλα, επηρεάζεται αρνητικά η κατασκευή και η δομή του ίδιου του εδάφους, η διαθεσιμότητα άλλων θρεπτικών στοιχείων και η βιολογική του δραστηριότητα (Jiang et al., 2020),

ενώ ακόμη εμποδίζεται η λειτουργία του. Το ίδιο το έδαφος μπορεί να μολύνει τα φυτά και μέσω αυτών την τροφική αλυσίδα (Li et al., 2018). Τέλος, για τις επικίνδυνες επιδράσεις τους στον ανθρώπινο οργανισμό ευθύνονται, κατά σειρά σπουδαιότητας, η κατάποση, η δερματική επαφή και η εισπνοή των μολυσματικών αυτών στοιχείων (Jiang et al., 2020).

Στοιχεία όπως το As (αρσενικό) και ο Hg (υδράργυρος) και βαρέα μέταλλα, όπως το Cd και το Pb έχει βρεθεί πως δεν παρουσιάζουν κάποιο όφελος στον άνθρωπο, ενώ αντίθετα, μπορούν να γίνουν τοξικά και προς αυτόν αλλά και προς τα ζώα, ακόμη και αν διατεθούν σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Από την άλλη, τα μέταλλα Zn, Fe, Cu και Mn διαδραματίζουν ζωτικής σημασίας ρόλο στο μεταβολισμό μας και για το λόγο αυτό κρίνονται αναγκαία. Μέταλλα σαν τα Ni, V, Co βρίσκονται κάπου στη μέση, καθώς ενώ δεν είναι απαραίτητα στοιχεία για τον ανθρώπινο οργανισμό, μπορούν σε μικρές συγκεντρώσεις να εμφανίσουν θετικές επιδράσεις (Khanam et al., 2020).

Όσον αφορά τη δημόσια υγεία, αρκετές μελέτες έχουν ασχοληθεί με τις επιπτώσεις κατάποσης εδάφους από παιδιά, κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού τους. Αποτελέσματα αυτών ήταν, σύμφωνα με τους Guney et al., (2010), ότι τα παιδιά εκτίθενται σε υψηλές συγκεντρώσεις χρωμίου (Cr), χαλκού (Cu), ψευδαργύρου (Zn) και κυρίως αρσενικού (As). Το τελευταίο δεν ανήκει στα βαρέα μέταλλα, αλλά στα μεταλλοειδή. Τα χημικά στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται για την επάλειψη των ξύλινων κατασκευών σε παιδικές χαρές και πάρκα, με σκοπό την προστασία από ασθένειες και εχθρούς. Σύμφωνα με άλλη έρευνα, η βιομηχανία αποτελεί έναν εξίσου σημαντικό παράγοντα ρύπανσης των εδαφών με βαρέα μέταλλα, καθώς παρατηρείται συσχέτισή της με την αύξηση των ποσοστών εμφάνισης καρκίνου (Huang et al., 2018). Η μεταφορά των τοξικών στοιχείων στην τροφική αλυσίδα μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους (ατμόσφαιρα, έδαφος, τροφή) και για αυτό απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή (Rinklebe, 2019).

Σχετικά με τις αρνητικές επιδράσεις κάθε στοιχείου στον άνθρωπο, το αρσενικό είναι ένα από τα κύρια μέταλλα που συμμετέχει στην εμφάνιση καρκίνου (Li et al., 2018), όπως και το κάδμιο (Liu et al., 2013), το οποίο ταυτόχρονα έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί και προβλήματα σε ζωτικά όργανα του ανθρώπινου

σώματος, όπως ο εγκέφαλος, η καρδιά και τα νεφρά. Ο μόλυβδος, έπειτα από μακροχρόνια επαφή, έχει την ικανότητα να προκαλέσει προβλήματα στο κεντρικό νευρικό σύστημα, στο κυκλοφορικό αλλά και στο ουροποιητικό σύστημα του ανθρώπου (Jiang et al., 2020), καθώς επίσης και στο ενδοκρινικό (Li et al., 2014). Εν κατακλείδι, σύμφωνα με τους Liu et al. (2013), το κάδμιο και το αρσενικό, σε αντίθεση με το χρώμιο και το μόλυβδο αποτελούν μέταλλα προτεραιότητας για τη μείωση της ρύπανσης.

1.1.4 Μορφές βαρέων μετάλλων στο έδαφος

Τα βαρέα μέταλλα μπορούν να βρεθούν στο έδαφος με πλήθος μορφών, οι οποίες τα καθιστούν είτε περισσότερο, είτε λιγότερο διαθέσιμα προς τα φυτά. Οι μορφές αυτές σύμφωνα με τον Κωστάκο, Ε. (2017), είναι οι κατωτέρω:

A) Σε μορφή διαλυτή και ανταλλάξιμη, γεγονός που τα καθιστά άμεσα διαθέσιμα στα φυτά προς απορρόφηση.

B) Δεσμευμένα στην οργανική ουσία (SOM) του εδάφους και σε οργανικά υλικά της ιλύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της βιοδιαθεσιμότητά τους, την αδυναμία ελευθέρωσής τους στο εδαφικό διάλυμα και, τέλος, τη μη διαθεσιμότητά τους προς τα φυτά (Antoniadis et al., 2017). Στην ουσία, η SOM απορροφά τα βαρέα μέταλλα και τα απομακρύνει από το εδαφικό διάλυμα, μειώνοντας έτσι τα συμπτώματα τοξικότητας (Antoniadis & Alloway, 2001).

Γ) + Δ) Σε μορφή συμπλόκων με οξείδια του Fe (FeO) ή του Mn (MnO₂) και με ανθρακικά (CO₃⁻²), γεγονός που τα καθιστά λιγότερο διαθέσιμα από ότι στις περιπτώσεις A και B.

E) Σε υπολειμματική μορφή στο έδαφος και αποτελούνται από ενώσεις του θείου (S) και άλλες ενώσεις που είναι αδιάλυτες, γεγονός που τα καθιστά ακόμη λιγότερο διαθέσιμα προς τα φυτά, σχετικά με όλες τις παραπάνω περιπτώσεις.

1.1.5 Επιδράσεις βαρέων μετάλλων στα φυτά

Σύμφωνα με τους Antoniadis et al., (2017), το μέγεθος των προβλημάτων που δημιουργούν τα βαρέα μέταλλα στα φυτά εξαρτάται από την αλληλεπίδραση μεταξύ εδάφους και φυτού. Τα φυτά διαθέτουν μηχανισμούς και διαδικασίες

που άλλοτε επιταχύνουν και άλλοτε επιβραδύνουν την απορρόφηση τους. Με άλλα λόγια, η κινητικότητα και η μεταφορά τους εξαρτάται από τη δραστηριότητα των μικροβίων στη ρίζα. Παράδειγμα αποτελούν οι μυκόρριζες ή άλλοι μύκητες του γένους *Phoma* και *Alternaria*, που αυξάνουν την ανοχή των φυτών στην έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις μολυσματικών στοιχείων. Στο ποσοστό διαθεσιμότητάς τους προς το φυτό, αλλά και στο ρυθμό συσσώρευσής ή αποτοξίνωσής τους προς και από αυτό, αντίστοιχα, επηρεάζουν κατά πολύ και τα εκκρίματα της ρίζας, τα οποία μειώνουν τοπικά το pH και έτσι οδηγούν σε μειωμένη πρόσληψη των κατιονικών μετάλλων από το φυτό. Τέλος, η ποσότητα βαρέων μετάλλων που θα βρεθεί μέσα στο φυτό είναι στενά συνδεδεμένη με την ικανότητα που έχει το ίδιο το φυτό να ανέχεται τέτοιου είδους μολυσματικά στοιχεία. Η ικανότητα αυτή των φυτών σχετίζεται με τη λειτουργία ορισμένων μηχανισμών, μέσω των οποίων αυξάνεται η ανοχή των φυτών έναντι των βαρέων μετάλλων. Οι μηχανισμοί αναφέρονται παρακάτω, είναι πέντε στον αριθμό και μπορούν να λειτουργήσουν και συνδυαστικά μεταξύ τους, ώστε να επιτευχθεί ο στόχος.

- Διαχωρισμός-Διαμερισματοποίηση. Είναι μία διαδικασία που πραγματοποιείται μέσα στο κύτταρο και εξαιτίας αυτής καθίσταται αδύνατη η αλληλεπίδραση μεταξύ ενεργών μεταβολικά ουσιών του κυττάρου και βαρέων μετάλλων.
- Δέσμευση-Χηλίωση. Είναι διαδικασίες κατά τις οποίες σχηματίζονται σύμπλοκα με τα βαρέα μέταλλα, τα οποία άλλοτε κινούνται εύκολα και άλλοτε δύσκολα, με στόχο τη διατήρηση των συγκεντρώσεων εντός του κυτταροπλάσματος σε χαμηλά επίπεδα.
- Απέκκριση από τα υπέργεια μέρη του φυτού. Η διαδικασία αυτή συμβαίνει σε πολύ λίγα είδη φυτών, όπως ο καπνός.
- Ενζυμικά ή Μη Ενζυμικά αντιοξειδωτικά. Είναι μία διαδικασία που μειώνει το οξειδωτικό στρες στα φυτά και διατηρεί την ισορροπία μεταξύ της παραγωγής ενεργών μορφών οξυγόνου και της απομάκρυνσης αυτών από το φυτό.
- Προστασία, αποκατάσταση του στρες και επιδιόρθωση των φθαρμένων πρωτεϊνών, καθώς οι τελευταίες κατέχουν σημαντικό ρόλο στην ανοχή των φυτών έναντι των βαρέων μετάλλων.

Παρακάτω αναλύονται και άλλοι παράγοντες που επιδρούν στην πρόσληψη των βαρέων μετάλλων από τα φυτά, αλλά με έμμεσο τρόπο.

1.1.6 Εδαφικές ιδιότητες από τις οποίες εξαρτάται η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων στο έδαφος

Η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων στα φυτά εξαρτάται από το «διαθέσιμο» κλάσμα, δηλαδή από αυτήν την ποσότητα που μπορεί να κινητοποιηθεί με ευκολία στο έδαφος και να απορροφηθεί από το ριζικό σύστημα των φυτών (μεγάλη διαλυτότητα και διαθεσιμότητα στο εδαφικό διάλυμα) (Antoniadis & Alloway, 2001). Η ποσότητα αυτή όμως εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, σύμφωνα με τον Αντωνιάδη, (2001), όπως είναι:

- 1) **Η τιμή του pH.** Πιο συγκεκριμένα, με αύξηση του pH του εδάφους αυξάνεται η προσρόφηση των κατιονικών μετάλλων, (δηλαδή μειώνεται η διαλυτότητά τους στο εδαφικό διάλυμα) και έτσι μειώνεται η διαθεσιμότητά, η κινητικότητα και η πρόσληψή τους από τα φυτά. Το αντίθετο έχει αποδειχθεί για τα ανιονικά μέταλλα. Αυτό εξηγείτε με δύο τρόπους. Ο πρώτος αφορά το γεγονός πως όσο αυξάνεται το pH αυξάνεται και η υδρόλυση των μετάλλων, οδηγώντας έτσι σε μεγαλύτερη απορρόφηση από το έδαφος. Ο δεύτερος αφορά το γεγονός πως με αύξηση του pH, αυξάνεται παράλληλα και το ηλεκτροαρνητικό φορτίο κάποιων κolloειδών του εδάφους, όπως της οργανικής ουσίας, των οξειδίων του Al, του Fe και άλλων, οδηγώντας έτσι το έδαφος σε μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης αυτών (Antoniadis et al., 2017).
- 2) **Οι στερεές επιφάνειες του εδάφους.** Η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων αυξάνεται όσο μειώνεται το ποσοστό οργανικής ουσίας, αργίλου ή άλλων στερεών του εδάφους. Στα «ελαφριά» εδάφη παρατηρείτε αυξημένη διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων, σε αντίθεση με τα «βαριά» εδάφη (Antoniadis et al., 2017).
- 3) **Το δυναμικό οξειδοαναγωγής του εδάφους.** Σε πλημμυρισμένα εδάφη ή σε εδάφη που η στάθμη των υπόγειων υδάτων είναι μεγάλη (αναερόβιες συνθήκες), τότε η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων μειώνεται, σε αντίθεση με τα εδάφη τα οποία αερίζονται καλά (οξειδωτικές συνθήκες).

- 4) **Οι ανταγωνιστικές σχέσεις μεταξύ των βαρέων μετάλλων.** Παράδειγμα αποτελεί ο Zn με το Cd, καθώς όσο αυξάνεται ο Zn, τόσο μειώνεται η προσρόφηση του Cd και επομένως τόσο αυξάνεται η κινητικότητα του στο εδαφικό διάλυμα.
- 5) **Η οργανική ουσία του εδάφους.** Με αύξηση της οργανικής ουσίας μειώνεται το ποσοστό των βιοδιαθέσιμων βαρέων μετάλλων. Σύμφωνα με τους Antoniadis et al., (2017), με την οργανική ουσία αυξάνεται η Ικανότητα Συγκράτησης Κατιόντων (ΙΑΚ) του εδάφους, βοηθώντας έτσι το ίδιο το έδαφος να μπορεί να συγκρατήσει περισσότερα βαρέα μέταλλα και γενικά ιχνοστοιχεία, ενώ παράλληλα αυξάνεται η ανοχή των φυτών σε αυξημένες συγκεντρώσεις μολυσματικών ιχνοστοιχείων, μέσω της βελτίωσης των απαραίτητων, για το φυτό, συνθηκών ανάπτυξης. Τέλος, η ικανότητα της οργανικής ουσίας να δημιουργεί σύμπλοκα μη απορροφήσιμα από τα φυτά οδηγεί επίσης σε χαμηλή διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων.
- 6) **Ο γηρασμός.** Η μειωμένη διαθεσιμότητα των στοιχείων είναι στενά συνδεδεμένη με το γηρασμό αυτών. Μέσω της γήρανσης τα μολυσματικά στοιχεία που μελετούμε μεταφέρονται σε περιοχές του εδάφους που είναι λιγότερο προσβάσιμες από το φυτό. Παράδειγμα αποτελεί η δέσμευση των βαρέων μετάλλων σε «ισχυρές» θέσεις των κολλοειδών της αργίλου (Antoniadis et al., 2017).
- 7) **Η αλατότητα του εδάφους.** Με αύξηση της αλατότητας αυξάνεται και η συγκέντρωση του Cl^- . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία συμπλόκων του τελευταίου με τα βαρέα μέταλλα, αυξάνοντας έτσι τη βιοδιαθεσιμότητά τους.
- 8) **Ο γονότυπος των φυτών.** Έχει βρεθεί πως τα βαρέα μέταλλα δεν μετακινούνται εύκολα από το υπόγειο τμήμα του φυτού προς το υπέργειο και εξαιτίας αυτού προκύπτει πως μολύνονται πιο εύκολα τα φυτά στα οποία καταναλώνουμε το υπόγειο ή το τρυφερό υπέργειο κομμάτι τους. Τα οπωροφόρα είναι πολύ πιο ανεκτικά.
- 9) **Το κλίμα.** Οι κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν πάρα πολύ τη βιοδιαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων. Παράδειγμα αποτελούν οι περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες, στις οποίες γνωρίζουμε πως η

οργανική ουσία του εδάφους αποικοδομείται πιο γρήγορα, αφού αυξάνεται η δραστηριότητα των μικροβίων.

1.2 ΚΑΔΜΙΟ

Το Cd ανήκει στην 12^η ομάδα του περιοδικού πίνακα, έχει ατομικό 48 και ατομικό βάρος 112,4. Το σημείο βρασμού του είναι οι 765 °C, το σημείο τήξης είναι οι 321 °C και το ειδικό βάρος είναι τα 8,65 g cm⁻³ (Ευσταθίου, 2020 & Kumar et al., 2021).

Το συγκεκριμένο στοιχείο βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα, συνήθως, σε μορφή Cd²⁺ και διακρίνεται από πολύ υψηλή κινητικότητα (El-Naggar et al., 2018), ενώ απορροφάται ελάχιστα από το έδαφος (Shaheen et al., 2013).

1.2.1 Μέγιστα επιτρεπόμενα όρια

Η τιμή του Cd στο φλοιό της Γης είναι περίπου 0,1-0,5 mg kg⁻¹. Στη λιθόσφαιρα η μέση τιμή της συγκέντρωσης του Cd είναι 0,2 mg kg⁻¹, στα επιφανειακά εδάφη είναι 0,53 mg kg⁻¹ και στα τρόφιμα είναι <0,66 mg kg⁻¹ (Khanam et al., 2020). Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του Cd στο έδαφος είναι 3 mg kg⁻¹ (Antoniadis & Golia, 2020).

Για τον άνθρωπο, η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα που μπορεί να εισέλθει σε έναν οργανισμό, σύμφωνα με τους FAO και WHO, κυμαίνεται από 400 έως 500 μg εβδομαδιαίως και επομένως περίπου 70 μg ημερησίως, δηλαδή 7 10⁻⁶ g (Μήτσιος, 2004), ενώ στο αίμα το επιτρεπτό όριο είναι <5 μg/L (Hu et al., 2021). Παράλληλα, η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα σε όσπρια και δημητριακά είναι τα 100 μg kg⁻¹, ενώ αγγίζει τα 100 και 300 μg kg⁻¹ σε φαρμακευτικά φυτά (όπως είναι και η ρίγανη) (Sekeroglu et. al, 2007). Όσον αφορά το πόσιμο νερό, ο WHO υποστηρίζει πως τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια για το συγκεκριμένο στοιχείο είναι 0,03 mg kg⁻¹. Τέλος, στον αέρα η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα είναι τα 5 ng/m³ (μέσος όρος ενός έτους).

Σχετικά με το φυτό και το έδαφος, τα μέγιστα επιτρεπτά όρια διαφέρουν από στοιχείο σε στοιχείο. Οι τιμές μερικών από αυτά τόσο στο ίδιο το φυτό, όσο και στο έδαφος παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.).

Όνομα Στοιχείου	Μέγιστα Επιθυμητά Όρια στο Έδαφος (mg kg^{-1} ή ppm)	Μέγιστα Επιτρεπόμενα Όρια στα Φυτά (mg kg^{-1} ή ppm)
Cd	0.8	0.02
Cr	100	1.30
Pb	85	2
Zn	50	0.60
Cu	36	10
Ni	35	10

Πίνακας 2. Μέγιστα όρια ιχνοστοιχείων για το έδαφος και το φυτό (Ogundele et al., 2015).

1.2.2 Χρήσεις καδμίου

Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, προέρχεται κυρίως από δραστηριότητες της βιομηχανίας, όπως εργοστάσια ένδυσης και υπόδησης, επεξεργασίας πλαστικών και άλλων παρόμοιων υλικών, ή και από κατασκευή μετάλλων (Jiang et al., 2020). Επίσης, μπορεί να προέρχεται από λύματα εξορύξεων (Li et al., 2013). Σύμφωνα με τον Μήτσιο, (2004), οι χρήσεις του Cd στη βιομηχανία είναι:

- Σε κράματα
- Σε χρωστικές ουσίες [Θεωρείται πολύ καλό κίτρινο χρώμα σύμφωνα με τον Ευθυμίου, (2020)]
- Στο ατσάλι ως κάλυμμα προστασίας, διαδικασία που ονομάζεται επικαδμίωση
- Στα πλαστικά ως σταθεροποιητικό
- Στις μπαταρίες Ni-Cd κ.ά.
- Σε πυρηνικούς αντιδραστήρες [Εξαιτίας του ότι απορροφά νετρόνια, σύμφωνα με τον Ευθυμίου, (2020)]

1.2.3 Προβλήματα στον άνθρωπο και το φυτό

Η είσοδος του στα εδάφη που καλλιεργούνται γίνεται συχνά εξαιτίας της χρήσης μεγάλων ποσοτήτων φωσφορικών λιπασμάτων, τα οποία αφήνουν υπολείμματα. Στον άνθρωπο η είσοδος γίνεται, κυρίως, μέσω της διατροφής και δευτερευόντως από την εισπνοή ατμών CO_2 που απελευθερώνονται από τις βιομηχανίες ή που προέρχονται από το κάπνισμα (Antoniadis & Golia,

2020). Σε περιπτώσεις μακροχρόνιας έκθεσης, το Cd αλλά και μερικά ακόμη στοιχεία όπως ο Pb, το As και το Cr, δημιουργούν σημαντικές αρνητικές επιδράσεις τόσο στο ανοσοποιητικό όσο και στο νευρικό σύστημα του ανθρώπου. Τέτοιου είδους επιδράσεις είναι η μη σωστή λειτουργία των νεφρών και του ήπατος, ο καρκίνος του πνεύμονα αλλά και ευαισθησία οστών που οδηγεί σε κατάγματα. Όσον αφορά τα φυτά, η ύπαρξη υψηλής συγκέντρωσης Cd και η τοξικότητα αυτού οδηγεί σε μείωση ανάπτυξης του ριζικού συστήματος, μείωση χλωροφύλλης, μείωση φωτοσύνθεσης και μειωμένη ικανότητα πρόσληψης ιχνοστοιχείων, γεγονότα που έχουν ως αποτέλεσμα, τελικά, τη μη σωστή ανάπτυξη του φυτού (Sangsuwan & Prapagdee, 2021).

1.2.4 Θεραπεία εδαφών έπειτα από μόλυνση με βαρέα μέταλλα

Η ρύπανση των εδαφών με βαρέα μέταλλα αποτελεί εξίσου σημαντικό πρόβλημα τόσο για τον άνθρωπο, όσο και για το περιβάλλον, με αποτέλεσμα η «φυτοεξυγίανση» να κατέχει σημαντικό ρόλο στις προσπάθειες βελτίωσης του οικοσυστήματος. Φυτοεξυγίανση είναι η διαδικασία που βασίζεται, κυρίως, στην ικανότητα που έχουν κάποια φυτά να προσλαμβάνουν, από το έδαφος ή την ατμόσφαιρα και να διασπούν ουσίες που είναι τοξικές. Καλλιεργώντας φυτά αυτής της κατηγορίας στα μολυσμένα χωράφια, αποτέλεσμα θα είναι η μείωση της συγκέντρωσης του στοιχείου τόσο στο έδαφος, όσο και στην ατμόσφαιρα. Όσον αφορά την ατμόσφαιρα, οι κηρώδεις ουσίες που βρίσκονται στα φύλλα με στόχο τη μείωση των απωλειών νερού προσελκύουν λιπόφιλες πτητικές οργανικές ουσίες, μειώνοντας έτσι τη συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται φυτοεξαγωγή και τα φυτά που την πραγματοποιούν ονομάζονται συσσωρευτές. Ένας άλλος τρόπος αφορά τη χρήση βακτηρίων ανθεκτικών στο Cd, τα οποία έχουν τη δυνατότητα είτε να αυξήσουν την διαλυτότητά του στο εδαφικό διάλυμα, είτε να αυξήσουν την ικανότητα συσσώρευσής του στα φυτά (Sangsuwan & Prapagdee, 2021).

1.2.5 Ρύπανση στην Ελλάδα

Το ενδιαφέρον σχετικά με τη μόλυνση από βαρέα μέταλλα στην Ελλάδα βρίσκεται γύρω από περιοχές με πολύ ανεπτυγμένη δραστηριότητας της βιομηχανίας και σε περιοχές που υπάρχουν ορυχεία. Οι πιο ρυπασμένες

περιοχές στη χώρα μας είναι γύρω από τα ορυχεία της Κίρκης (Pb και Zn) στον Έβρο, του Λαυρίου (Pb και Zn) στην Αθήνα και της Δράμας (Mn). Σχετικά με τις βιομηχανικές περιοχές, αυξημένη μόλυνση έχει παρατηρηθεί σε περιοχές όπως το Θριάσιο στην Αθήνα και η Σίνδος, λίγο έξω από τη Θεσσαλονίκη. Παράλληλα, πλέον υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την περιοχή του Βόλου και πιο συγκεκριμένα τη βιομηχανική περιοχή αυτού, για την οποία οι έρευνες που πραγματοποιούνται δείχνουν υψηλά επίπεδα μόλυνσης. Η μόλυνση της περιοχής αυτής έγκειται στην λειτουργία του χαλυβουργείου αλλά και των δύο μεγάλων αυτοκινητοδρόμων που υπάρχουν ακριβώς εκεί και χρησιμοποιούνται εκτενώς. Οι περιοχές εκεί κοντά καλλιεργούνται για παραγωγή τροφής εδώ και πολλά χρόνια, με αποτέλεσμα οι αγρότες να έρχονται σε άμεση επαφή με μολυσμένη ατμόσφαιρα και έδαφος, οδηγώντας έτσι σε σοβαρά προβλήματα υγείας. Κατ' επέκταση δημιουργούνται προβλήματα και στον υπόλοιπο πληθυσμό μέσω της τροφικής αλυσίδας (Antoniadis, 2019b). Αξίζει να αναφερθεί ότι η χώρα μας ανήκει στις χώρες της Ευρώπης με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cd στο έδαφος, ενώ ακολουθούν η Ιταλία και η Γαλλία (Pan et al., 2009).

1.3 ΡΙΓΑΝΗ

Η ρίγανη είναι ένα αρωματικό, πολυετές ποώδες φυτό με λατινική ονομασία *Origanum vulgare*, που ανήκει στην οικογένεια *Lamiaceae* και στην τάξη των *Lamiales* (Κουτσός, 2006 & Μαλούπα κ.ά, 2013). Έχει φύλλα μικρά, με μίσχο, είτε αραιά είτε πυκνότερα τριχωτά και σχήματος ελλειψοειδούς έως στρογγυλού. Τα άνθη της είναι συνήθως λευκά, δημιουργούνται πάνω σε σύνθετη ταξιανθία στάχυ και καλύπτουν περίπου το 1/3 του κάθε στελέχους. Η ωρίμανσή της δεν είναι ταυτόχρονη σε όλο τον στάχυ και επομένως χαρακτηρίζεται ως φυτό συνεχούς ωρίμανσης. Οι βλαστοί παρόλο που είναι εύκαμπτοι και πράσινοι αρχικά, αργότερα ξυλοποιούνται και το φυτό μοιάζει με θάμνο. Το ύψος της φτάνει έως τα 80 εκατοστά (Κατσιώτης και Χατζοπούλου, 2019, Κουτσός, 2006 & Μαλούπα κ.ά, 2013). Οι σπόροι της ρίγανης είναι καφέ χρώματος και μικρού μεγέθους, ενώ σε 1 γραμμάριο σπόρων περιέχονται περίπου 10.000 με 15.000 σπόροι (Κουτσός, 2006).

Σύμφωνα με τους Κατσιώτη και Χατζοπούλου (2019), εμφανίζεται ως αυτοφυές φυτό σε χαμηλά και μεσαία υψόμετρα και ευδοικεί σε δροσερές και ημιορεινές περιοχές. Έχει ιδανική θερμοκρασία ανάπτυξης τους 18-22°C, με μέγιστη τους 33°C και ελάχιστη τους 4°C (Κουτσός, 2006). Διαλέγει θέσεις που φωτίζονται καλά καθώς είναι ένα φυτό μακράς φωτοπεριόδου (προτιμά 12 ή και περισσότερες ώρες). Τα φυτά που έχουν την ικανότητα να εκτίθενται σε αυτές τις ώρες φωτοπεριόδου καταλήγουν να είναι πιο εύρωστα, ενώ παράλληλα δημιουργούν μεγαλύτερη χορτομάζα. Το φως είναι αναγκαίο για την παραγωγή καλής ποιότητας αιθέριου ελαίου, παρόλα αυτά μπορεί να αναπτυχθεί και με λιγότερο φως, οδηγώντας βέβαια σε χαμηλότερη περιεκτικότητα σε ριγανέλαιο και ειδικότερα καρβακρόλη (Κουτσός, 2006).

Η φύτευσή της μπορεί να γίνει είτε τη φθινοπωρινή περίοδο (Οκτώβριος) είτε την εαρινή περίοδο (Μάρτιος), με αποστάσεις φύτευσης περίπου 0,6-0,8 m μεταξύ των γραμμών και 0,3-0,4 m επί των γραμμών, γεγονός που σημαίνει ότι σε ένα στρέμμα υπάρχουν 4.000-6.000 φυτά. Στα άγονα, μη αρδευόμενα εδάφη χρησιμοποιείται πυκνότερη φύτευση από ότι στα γόνιμα και αρδευόμενα εδάφη. Η ανθοφορία της ξεκινά από τον Ιούνιο και τελειώνει Σεπτέμβριο με Οκτώβριο (Κατσιώτης και Χατζοπούλου, 2019 & Μαλούπα κ.ά, 2013).

Όσον αφορά το έδαφος, η ρίγανη παρουσιάζει μεγάλη πλαστικότητα στις εδαφοκλιματικές συνθήκες. Μπορεί να καλλιεργηθεί από πλούσια χωράφια έως και φτωχά, άγονα ασβεστούχα εδάφη, με pH μεταξύ 6,5 και 7,5. Έχει τη δυνατότητα να καλλιεργηθεί τόσο σε παραθαλάσσιες, όσο και σε ορεινές περιοχές (Κατσιώτης και Χατζοπούλου, 2019 & Κουτσός, 2006).

Όσον αφορά τη θρέψη, γενικότερα δεν έχει υψηλές απαιτήσεις σε βασικά θρεπτικά στοιχεία και χρειάζεται μικρή ποσότητα μικτών λιπασμάτων (N-P-K), ενώ από τα ιχνοστοιχεία πιο σημαντικό είναι το νάτριο και μετά ο χαλκός (Κουτσός, 2006).

Σχετικά με την άρδευση, είναι ανθεκτικό στην ξηρασία φυτό και μπορεί να καλλιεργηθεί χωρίς ιδιαίτερα ποτίσματα, όμως αν εμφανιστεί μεγάλη περίοδος ξηρασίας την Άνοιξη, πριν την συγκομιδή, τότε χρειάζονται μερικά ποτίσματα ώστε να αυξηθεί η απόδοση, χωρίς να υποβαθμιστεί ιδιαίτερα η ποιότητα του προϊόντος. Αναγκαίο είναι και ένα πότισμα αμέσως μετά τη φύτευση τόσο κατά

τη φθινοπωρινή όσο και κατά την εαρινή φύτευση, αλλά και μετά στην πρώτη κοπή. Η άρδευση οδηγεί σε αύξηση χορτομάζας (Κατσιώτης και Χατζοπούλου, 2019 & Κουτσός, 2006).

Όσον αφορά τους εχθρούς και τις ασθένειες είναι ανθεκτικό φυτό. Οι εντομολογικοί εχθροί δεν επηρεάζουν την καλλιέργεια της ρίγανης ιδιαίτερα και οι σηψιρριζίες αποτελούν τη μοναδική μυκητολογική ασθένεια που μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα, κυρίως σε εδάφη που δεν αποστραγγίζονται σωστά και συγκρατούν πολύ νερό (Μαλούπα κ.ά, 2013).

Η συγκομιδή της ρίγανης γίνεται κατά το στάδιο της πλήρους ανθοφορίας, συνήθως από Ιούνιο έως Σεπτέμβριο με χορτοκοπτικό και με ύψος κοπής τα 8-10 cm από το έδαφος. Μετά τη συγκομιδή απαιτείται ξήρανση σε ειδικά ξηραντήρια ή σε σκιερό μέρος και όχι στο χωράφι γιατί οδηγεί σε υποβάθμιση ποιότητας. (αν η ρίγανη προορίζεται για αιθέριο έλαιο τότε η συγκομιδή γίνεται στην πλήρη ανθοφορία, ενώ αν προορίζεται για δρόγη στην αρχή της ανθοφορίας. Αν προορίζεται για φρέσκια-νωπή τότε η συγκομιδή γίνεται πριν ανθίσει το φυτό (Κατσιώτης και Χατζοπούλου, 2019).

Οι αποδόσεις της καλλιέργειας φτάνουν τα 1.500-2.000 κιλά βιομάζας ανά στρέμμα ή αλλιώς τα 300 κιλά τριμμένης ρίγανης ανά στρέμμα. Η ρίγανη ως πολυετές φυτό μπορεί να καλλιεργηθεί για 10 χρόνια, με τις μέγιστες αποδόσεις να επιτυγχάνονται από το 2^ο έως και τον 6^ο χρόνο παραγωγής. Όσον αφορά το αιθέριο έλαιο οι αποδόσεις είναι περίπου 0,07-0,3% στο νωπό υπέργειο τμήμα του φυτού και 0,5-2,3% στα φύλλα και τα άνθη μετά την ξήρανση. Η απόδοση σε σπόρο, τέλος, αγγίζει τα 15 kg ανά στρέμμα (Κατσιώτης και Χατζοπούλου, 2019).

Το αιθέριο έλαιο της ρίγανης ονομάζεται ριγανέλαιο και αποτελείται κυρίως από καρβακρόλη, θυμόλη, αλλά και π-κυμένιο και γ-τερπινένιο. Ακόμη, αποτελείται από φλαβόνες, φλαβονογλυκοσίδες, κατεχίνη, σесκιτερπένια, φαινολικά οξέα κ.ά.. Η σύσταση του ριγανέλαιου επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως ο γονότυπος του φυτού και οι συνθήκες καλλιέργειας του, με αποτέλεσμα να μην είναι σταθερή. Επίσης, η περιεκτικότητα σε αιθέριο έλαιο ποικίλει στα διάφορα είδη και στις διάφορες περιοχές. Έχει βρεθεί πως η ποσότητα του αιθέριου ελαίου μειώνεται όσο αυξάνεται το υψόμετρο και το γεωγραφικό

πλάτος μιας περιοχής, καθώς μικραίνει η περίοδος του καλοκαιριού και μειώνεται η φωτοσύνθεση (Κατσιώτης και Χατζοπούλου, 2019 & Μαλούπα κ.ά, 2013).

Η ρίγανη είναι σημαντική τόσο ως αποξηραμένο βότανο όσο και ως αιθέριο έλαιο. Έχει πλούσιο άρωμα, έχει φαρμακευτικές ιδιότητες και επίσης χρησιμοποιείται ως καρύκευμα. Μερικές από τις χρήσεις της είναι ως αντισηπτικό, χολαγωγό, αποχρεμπτικό, ανακουφιστικό κατά των στομαχικών και εντερικών προβλημάτων, διεγερτικό, τονωτικό, εμμηναγωγό και αντισπασμωδικό. Ως ρόφημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κρυολόγημα ή γρίπη, δυσπεψία και δυσμηνόρροια, ενώ επίσης σε μικρή ποσότητα σε τσάι μπορεί να οδηγήσει σε ήρεμο και ποιοτικό ύπνο. Δεν πρέπει να λαμβάνεται σε μεγάλη ποσότητα. Το αιθέριο έλαιο της ρίγανης χρησιμοποιείται εξωτερικά για εντριβές εναντίων άσθματος, αρθρίτιδας ή πόνων των μυών. Επίσης, παρουσιάζει αντιμικροβιακή, αντιοξειδωτική και αντιμυκητιακή δράση και έτσι αποτελεί ένα αβλαβές, φυσικό συντηρητικό, που προστατεύει από ενδεχόμενες αλλοιώσεις σε μεγάλο αριθμό τροφίμων (Κατσιώτης και Χατζοπούλου, 2019 & Κουτσός, 2006).

1.4 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν να μελετηθεί η αντοχή της ρίγανης στην επιμόλυνση διαφορετικών συγκεντρώσεων καδμίου, με ταυτόχρονη χορήγηση δύο επιπέδων αζωτούχου λιπάσματος. Η επιμόλυνση του συστήματος έδαφος-φυτό με βαρέα μέταλλα αποτελεί πολύ σημαντικό ζήτημα τα τελευταία χρόνια, για αυτό και κρίθηκε αναγκαία η περαιτέρω μελέτη των πιθανών εναλλακτικών λύσεων, που θα οδηγήσουν στη μείωση του προβλήματος και στη φυτοαποκατάσταση των εδαφών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Για τη διεξαγωγή του πειράματος παρελήφθησαν στη 1/3/2019 225 φυτά ρίγανης του είδους *Origanum vulgare* L. subsp. *hirtum* σε δίσκους σποράς, από τοπικό φυτώριο. Την ίδια ημέρα πραγματοποιήθηκε η μεταφύτευσή τους σε γλάστρες των 0,2 L και τα φυτά παρέμειναν εντός θερμοκηπίου ώστε να αναπτυχθούν. Ακολούθησε πότισμα ανά δύο ημέρες, το οποίο διήρκησε ως τη φύτευση των φυτών στις τελικές γλάστρες. Όσο τα φυτά ρίγανης βρίσκονταν στις γλάστρες των 0,2 L και συγκεκριμένα στις 8/3/2019 έγινε αραίωμα, ώστε να παραμείνουν πάνω στα φυτά ένα με δύο μικροί βλαστοί μονάχα.

Στις 12/3/2019, πραγματοποιήθηκε συλλογή δείγματος εδάφους ίσου με 200 kg, από το αγρόκτημα του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, στο Βελεστίνο. Την ίδια ημέρα πραγματοποιήθηκε και το κοσκίνισμα του εδάφους, ενώ την αμέσως επόμενη, δηλαδή στις 13/3/2019 έγιναν οι απαραίτητες προετοιμασίες για την τελική μεταφύτευση. Αυτές απαρτίζονταν από τη δημιουργία διηθητικών χαρτιών και συγκεκριμένα 2 ανά γλάστρα, τα οποία ήταν αναγκαίο να τοποθετηθούν στον πάτο της τελικής γλάστρας, αλλά και από την ανάμιξη του δείγματος εδάφους με περλίτη, σε αναλογία 1:1, με στόχο τη δημιουργία πιο ευνοϊκού υποστρώματος. Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία της ανάμιξης, μεταφέρθηκαν σε γλάστρες του 1,5 L, περίπου 0,7 kg του μίγματος έδαφος – περλίτης. Στις 29/3/2019 πραγματοποιήθηκε η παρασκευή των διαλυμάτων επιμόλυνσης και τελικά, η επιμόλυνση των γλαστρών, οι οποίες για δύο εβδομάδες, περίπου, παρέμειναν χωρίς φυτά. Την ίδια ημέρα προστέθηκαν στις γλάστρες και οι αναγκαίες λιπαντικές μονάδες αζώτου. Για τη διεξαγωγή του πειράματος δημιουργήθηκαν 6 μεταχειρίσεις με 30 γλάστρες η κάθε μία. Για την επιμόλυνση χρησιμοποιήθηκε διάλυμα νιτρικού καδμίου ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$) και νιτρικής αμμωνίας (NH_4NO_3), για το Cd και το N, αντίστοιχα.

Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε πυκνό διάλυμα νιτρικού καδμίου συγκέντρωσης 5600 ppm Cd που δημιουργήθηκε με 7,68 g $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ σε

500 mL νερού) και διάλυμα νιτρικής αμμωνίας συγκέντρωσης 2324,83 ppm που δημιουργήθηκε με 13,30 g NH_4NO_3 σε 2.000 mL νερού).

Εξαιτίας της ύπαρξης αζώτου και στο διάλυμα νιτρικού καδμίου, δημιουργήθηκε η ανάγκη για έλεγχο και ισορρόπηση των ποσοτήτων αζώτου που χρειάζονται για την κάθε μεταχείριση. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε μεταχείριση που περιλάμβανε επιμόλυνση με Cd, αναπόφευκτα γινόταν και προσθήκη μιας ποσότητας αζώτου στο έδαφος. Έτσι, ακόμη και η μεταχείριση N(0) περιείχε μια ποσότητα αζώτου, ίση με 4 Λιπαντικές Μονάδες, που θεωρούνται ΛΜ βάσης. Η ποσότητα αζώτου που χορηγήθηκε στο έδαφος στις μεταχειρίσεις N(0), αλλά και στις μεταχειρίσεις N(1), σταδιακά μειωνόταν, καθώς αυξανόταν η ποσότητα νιτρικού καδμίου που χρησιμοποιούνταν. Επομένως, στις μεταχειρίσεις N(0) χορηγήθηκαν συνολικά στο έδαφος 4 ΛΜΑ, ενώ στις μεταχειρίσεις N(1) χορηγήθηκαν συνολικά 34 ΛΜΑ. Στο σημείο αυτό είναι αναγκαίο να αναφερθεί πως η τόσο υψηλή δόση N που χορηγήθηκε στις μεταχειρίσεις N(1) δεν αντικατοπτρίζει σε καμία περίπτωση τις πραγματικές ανάγκες της καλλιέργειας και άρα δε χορηγήθηκε για λόγους ορθής αγρονομικής διαχείρισης της συγκεκριμένης καλλιέργειας. Οι 34 ΛΜΑ χορηγήθηκαν με στόχο τη διευκόλυνση της μελέτης της δυναμικής του καδμίου. Συμπερασματικά, κάθε μία από τις μεταχειρίσεις περιλάμβανε τα κάτωθι:

Μεταχειρίσεις	Διάλυμα $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ (mL)	Διάλυμα NH_4NO_3 (mL)
N (0) Cd (0)	0	3
N (0) Cd (20)	2,5	1,5
N (0) Cd (40)	5	0
N (1) Cd (0)	0	25,6
N (1) Cd (20)	2,5	24,1
N (1) Cd (40)	5	22,6

Πίνακας 4. Ποσότητα διαλύματος Νιτρικού Καδμίου και Νιτρικής Αμμωνίας που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε διαφορετική μεταχείριση.

Η φύτευση των φυτών της ρίγανης στις τελικές γλάστρες πραγματοποιήθηκε στις 11/4/2019. Μετά από μία εβδομάδα τα 180 πιο εύρωστα φυτά μεταφέρθηκαν εκτός θερμοκηπίου ώστε να αναπτυχθούν υπό φυσιολογικές συνθήκες περιβάλλοντος και τοποθετήθηκαν στις 6 μεταχειρίσεις τυχαία. Ποτίσματα πραγματοποιούνταν κάθε 2 με 3 μέρες αρχικά και έπειτα κάθε μέρα, καθώς η θερμοκρασία του περιβάλλοντος σταδιακά αυξανόταν. Παράλληλα, έγινε και αφαίρεση των ζιζανίων ώστε να μην ανταγωνίζονται τη ρίγανη σε νερό και θρεπτικά. Η συγκομιδή των φυτών πραγματοποιήθηκε στις 26/6/2019 κόβοντας το υπέργειο τμήμα σύριζα πάνω από το χώμα. Χρησιμοποιήθηκαν 8 φυτά από κάθε μεταχείριση από τα οποία με προσοχή αφαιρέθηκε από τη ρίζα όσο περισσότερο έδαφος γινόταν, χωρίς βέβαια να προκληθεί ζημιά. Έτσι, η ρίζα παρέμεινε ακέραια. Ακολούθησαν μετρήσεις ξηρού βάρους, συγκέντρωσης Cd στο έδαφος και τη ρίζα, συγκέντρωσης νιτρικών στα φυτά. Τα υπόλοιπα 22 φυτά από κάθε μεταχείριση προορίζονταν για μέτρηση αιθέριων ελαίων.

2.2 ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΥΠΕΡΓΕΙΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

I. Μέτρηση ξηρού βάρους υπέργειου τμήματος

Για τη μέτρηση του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος του φυτού πραγματοποιήθηκε ξήρανση των φυτών στους 70 °C για περίπου 3 ημέρες. Έπειτα, τα φυτά ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας ούτως ώστε να καθοριστεί το ξηρό τους βάρος.

II. Μέτρηση ιχνοστοιχείων (Cd)

Για τη μέτρηση ιχνοστοιχείων τα δείγματα που υπέστησαν ξήρανση κονιορτοποιήθηκαν σε μύλο άλεσης. Ζυγίστηκαν 0,5 g φυτικού ιστού και τοποθετήθηκαν σε χωνευτήρα πορσελάνης (κάψα). Οι χωνευτήρες αυτοί τοποθετήθηκαν σε ηλεκτρικό φούρνο για 4 ώρες στους 500 °C ώστε να καεί το φυτικό υλικό. Αφού τα δείγματα κρύωσαν, πραγματοποιήθηκε εκχύλιση του φυτικού ιστού με 20 mL 20% HCl σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL, ώστε να παραληφθεί η τέφρα που δημιουργήθηκε. Το εκχύλισμα που προέκυψε μετρήθηκε στην ατομική απορρόφηση για τον υπολογισμό του Cd στο υπέργειο τμήμα.

III. Μέτρηση ολικού αζώτου

Η μέτρηση του ολικού αζώτου πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Kjeldhal. Για τη μέθοδο αυτή, αρχικά πραγματοποιήθηκε πέψη του φυτικού ιστού με 20 mL πυκνού H_2SO_4 , με 2 ταμπλέτες Kjeltab σεληνίου και με 1 ταμπλέτα antifioam, σε σωλήνες πέψης των 500 mL. Αφού ολοκληρώθηκε η πέψη, πραγματοποιήθηκε απόσταξη σε κωνικές φιάλες των 250 mL χρησιμοποιώντας alkali (καυστικό νάτριο) και παγίδα βορικού οξέος 4%. Τέλος, μετά την απόσταξη πραγματοποιήθηκε ογκομέτρηση του αποστάγματος με διάλυμα 0,0551 M H_2SO_4 , χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα περίπου 5 σταγόνες μικτού δείκτη bromocresol green και methyl red σε αναλογία 1:1, μέχρι τη στιγμή που το απόσταγμα αλλάξει χρώμα και από πράσινο γίνει ροζ-κόκκινο.

2.3 ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

I. Μέτρηση ξηρού βάρους υπόγειου τμήματος

Για τη μέτρηση του ξηρού βάρους του υπόγειου τμήματος της ρίγανης πραγματοποιήθηκε ακριβώς η ίδια διαδικασία με αυτή του υπέργειου τμήματος.

II. Μέτρηση ολικών συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων με βασιλικό νερό

Για τη μέτρηση των ολικών συγκεντρώσεων με βασιλικό νερό (aqua regia) ζυγίστηκε περίπου 1 g εδάφους ακριβώς καταγεγραμμένο, κοσκινίστηκε από κόσκινο 250 μm και έπειτα προστέθηκε σε δοκιμαστικούς σωλήνες (velp) των 250 mL. Οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοποθετήθηκαν σε ειδικό block πέψης και έπειτα στον απαγωγό αερίων. Εκεί προστέθηκαν 15 mL πυκνού HCl και 5 mL πυκνού HNO_3 . Έπειτα, τα δείγματα αφέθηκαν για 16 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου ώστε να εισχωρήσουν τα οξέα σε όλους τους πόρους του εδάφους και να διαλυτοποιηθούν πιο εύκολα τα ορυκτά, ενώ στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε πέψη στους 50 °C μέχρι τη λήξη των αντιδράσεων και τέλος στους 140 °C για περίπου 3 ώρες. Τέλος, αφού έπεσε η θερμοκρασία των δειγμάτων, το περιεχόμενο διηθήθηκε σε ογκομετρικές φιάλες των 100 mL με απιονισμένο νερό. Το εκχύλισμα που προέκυψε μετρήθηκε σε ατομική απορρόφηση, ώστε να υπολογιστεί η συγκέντρωση του Cd στη ρίζα και το υπόγειο τμήμα.

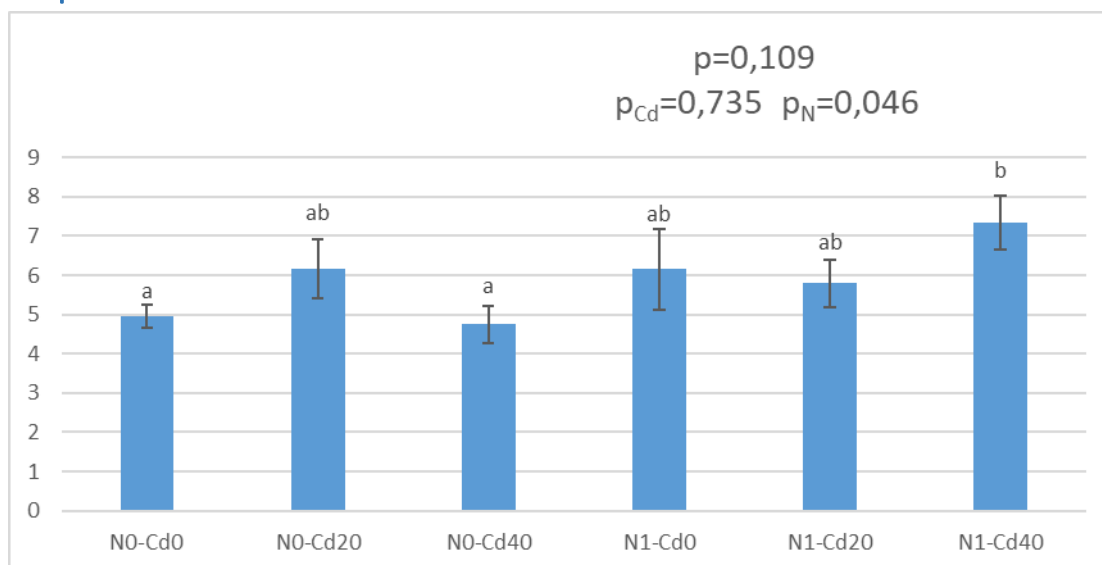
III. Μέτρηση pH

Για τη μέτρηση του pH του εδάφους ζυγίστηκαν περίπου 10 g εδάφους ακριβώς καταγεγραμμένα και προστέθηκαν σε μπουκαλάκια των 50 mL τύπου falcon. Μετά, προστέθηκε απιονισμένο νερό στην ποσότητα των 25 mL. Ακολούθησε ανακίνηση των μπουκαλιών για 10 λεπτά και έπειτα τα δείγματα αφέθηκαν να ηρεμήσουν για περίπου 30 λεπτά. Τέλος, η μέτρηση του pH πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού πεχαμέτρου.

2.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

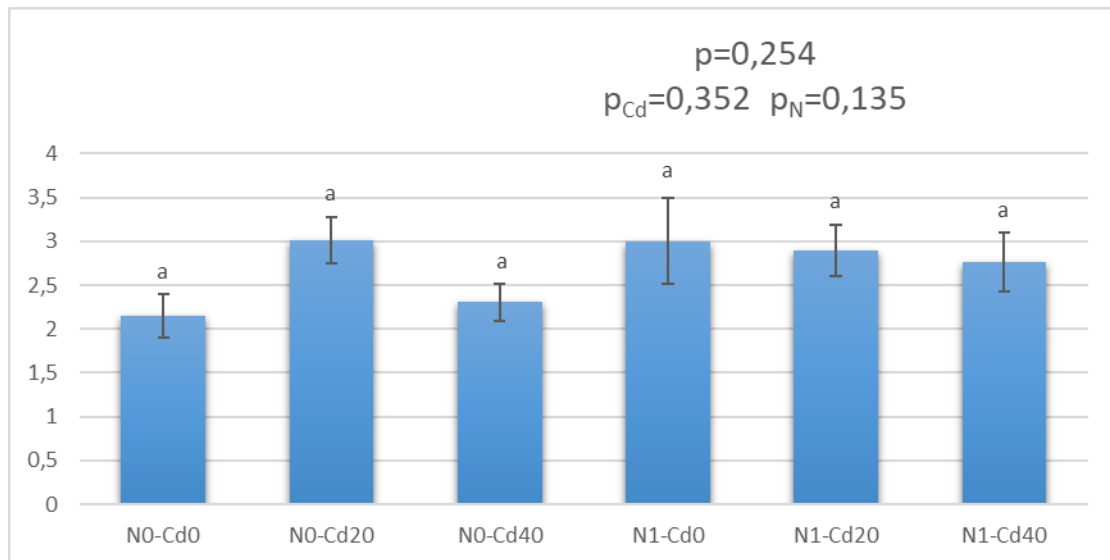
Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων και την εύρεση των διαφορών μεταξύ των μέσων όρων των μεταχειρίσεων χρησιμοποιήθηκε η «Ανάλυση της παραλλακτικότητας» ή αλλιώς ANOVA (Analysis of Variance). Αναλυτικότερα, χρησιμοποιήθηκε τόσο μονοπαραγοντική ANOVA (one-way ANOVA), όσο και διπαραγοντική (two-way ANOVA), με τη διερεύνηση να έχει πραγματοποιηθεί με τη χρήση post-hoc analysis, η οποία έγινε σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$ (δηλαδή 95%) και κατά πρότυπο Duncan. Η two-way ANOVA πραγματοποιήθηκε για να δούμε τις διαφορές που προέκυψαν μεταξύ των μεταχειρίσεων ανά παράμετρο, με παράμετρο 1 να αποτελεί το προστιθέμενο κάδμιο και παράγοντα δύο να αποτελεί το άζωτο.

Κεφάλαιο 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ



«**Σχήμα 1.** Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος ρίγανης σε γραμμάρια (g). Οι μεταχειρίσεις φαίνονται στον άξονα x και είναι οι εξής: N0-Cd0 (μάρτυρας), N0-Cd20 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N0-Cd40 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd0 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και χωρίς προσθήκη Cd), N1-Cd20 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd40 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους)».

Το ξηρό βάρος του υπέργειου τμήματος της ρίγανης ήταν 5 g ανά γλάστρα στη μεταχείριση του μάρτυρα και αυξήθηκε στα 6 g έπειτα από τη χορήγηση του N, στη μεταχείριση N(1)Cd(0). Είναι χαρακτηριστικό ότι στις μεταχειρίσεις χορήγησης Cd υπήρξε τάση αύξησης του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος της ρίγανης, όμως η αύξηση αυτή ήταν στατιστικά μη σημαντική. Η τάση αύξησης ήταν στατιστικά σημαντική μόνο στη μεταχείριση N(1)Cd(40), σε σχέση με το μάρτυρα. Με βάση την two-way ANOVA, η προσθήκη Cd δεν είχε στατιστικά σημαντική συμβολή στην αύξηση του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος της ρίγανης στη μεταχείριση N(1)Cd(40) και άρα δεν την επηρέασε, σε αντίθεση με την προσθήκη N με την οποία υπήρχε στατιστικά σημαντική αύξηση μεταξύ των μεταχειρίσεων.

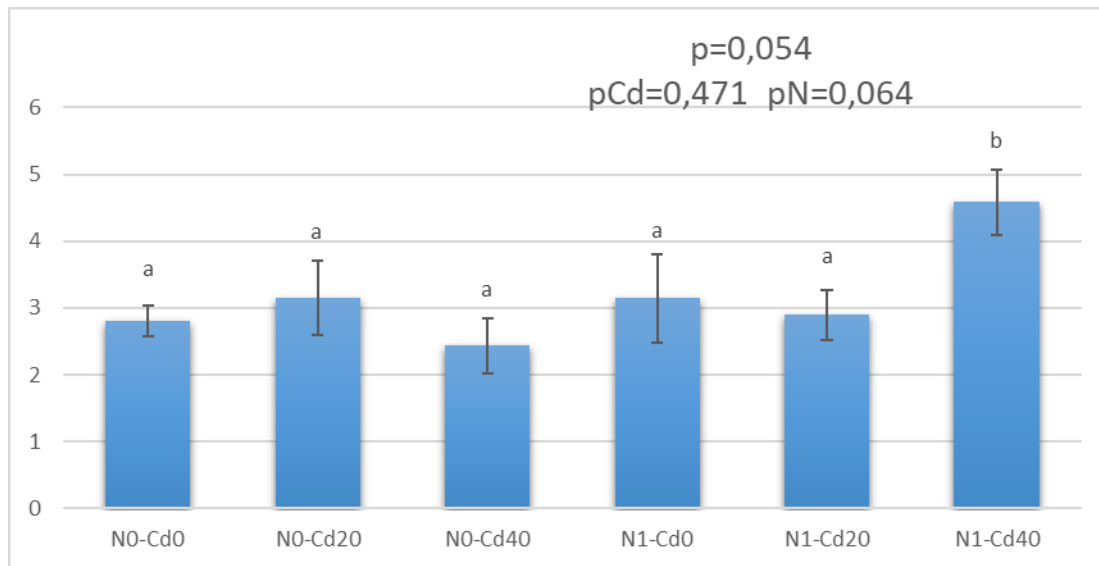


«**Σχήμα 2.** Ξηρό βάρος βλαστών ρίγανης σε g. Οι μεταχειρίσεις φαίνονται στον άξονα x και είναι οι εξής: N0-Cd0 (μάρτυρας), N0-Cd20 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N0-Cd40 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd0 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και χωρίς προσθήκη Cd), N1-Cd20 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd40 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους)».

Το ξηρό βάρος των βλαστών της ρίγανης ήταν 2 g ανά γλάστρα στη μεταχείριση του μάρτυρα και αυξήθηκε στα 3 g έπειτα από τη χορήγηση N, στη μεταχείριση N(1)Cd(0). Στις μεταχειρίσεις που χορηγήθηκε Cd υπήρξε τάση αύξησης του ξηρού βάρους των βλαστών της ρίγανης, αλλά η αύξηση αυτή ήταν στατιστικά μη σημαντική. Αυτό αποδεικνύεται και με την two-way ANOVA, σύμφωνα με την οποία τόσο με την προσθήκη Cd όσο και με την προσθήκη N δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, όσον αφορά την αύξηση του ξηρού βάρους των βλαστών της ρίγανης.

Σχετικά με το ξηρό βάρος των βλαστών και γενικότερα του υπέργειου τμήματος τη ρίγανης να μεν παρατηρήθηκε μία μικρή αύξηση στις μεταχειρίσεις στις οποίες χορηγήθηκε άζωτο, αλλά η αύξηση αυτή δεν ήταν σημαντική, με εξαίρεση τη μεταχείριση N(1)Cd(40) του σχήματος 1, στην οποία η αύξηση του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος ήταν αξιοσημείωτη. Σημαντικό βέβαια είναι και το γεγονός πως η προσθήκη Cd δε δημιούργησε πρόβλημα στην

αύξηση του ξηρού βάρους των φυτών σε καμία από τις τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις στις οποίες χορηγήθηκε (0, 20, 40 ppm), εύρημα που έρχεται σε αντιδιαστολή με παρόμοιες έρευνες που αναφέρουν πως ποσότητες Cd πάνω από 300 μM (περίπου 34 ppm) επηρεάζουν σημαντικά τη βιομάζα του *Sesuvium portulacastrum* (Uddin et al., 2020). Από την άλλη, η προσθήκη αζώτου ήταν ευεργετική και βοήθησε στην αύξηση του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος των φυτών της ρίγανης, συμπέρασμα που είναι λογικό, καθώς είναι γνωστή η επίδραση του αζώτου στην ανάπτυξη και απόδοση των φυτών (Zhen et al., 2021), μειώνοντας ταυτόχρονα τις αρνητικές επιδράσεις που θα μπορούσαν να εμφανισθούν από την προσθήκη Cd. Με τα συμπεράσματα αυτά έρχονται να συμφωνήσουν και άλλες μελέτες οι οποίες αφορούσαν τις επιδράσεις του καδμίου σε ποικιλίες σίτου κάτω από προσθήκη διαφορετικών συγκεντρώσεων αζώτου (Yotsova et al., 2020).

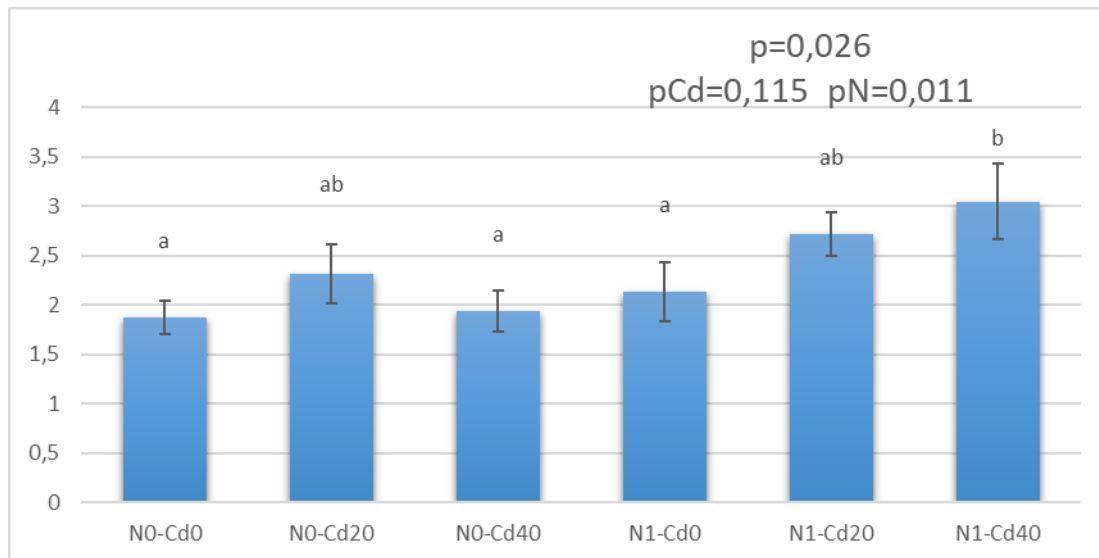


«**Σχήμα 3.** Ξηρό βάρος φύλλων ρίγανης σε g. Οι μεταχειρίσεις φαίνονται στον άξονα x και είναι οι εξής: N0-Cd0 (μάρτυρας), N0-Cd20 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N0-Cd40 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd0 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και χωρίς προσθήκη Cd), N1-Cd20 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd40 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους)».

Το ξηρό βάρος των φύλλων της ρίγανης ήταν περίπου 2,8 g ανά γλάστρα στη μεταχείριση του μάρτυρα και αυξήθηκε στα 4,5 g έπειτα από χορήγηση Cd, στη μεταχείριση N(1)Cd(40). Στις μεταχειρίσεις που χορηγήθηκε Cd δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές μεταβολές, με εξαίρεση τη μεταχείριση N(1)Cd(40) στην οποία παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά, σε σχέση με τις άλλες μεταχειρίσεις. Ωστόσο, σύμφωνα με την two-way ANOVA, τόσο με την προσθήκη Cd όσο και με την προσθήκη N δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, όσον αφορά την αύξηση του ξηρού βάρους των φύλλων της ρίγανης.

Όσον αφορά τα φύλλα της ρίγανης η επίδραση του αζώτου αύξησε κατά ένα μικρό ποσοστό το ξηρό τους βάρος αλλά όχι σημαντικά. Αξιοσημείωτο εδώ είναι το ότι αυξήθηκε σημαντικά το ξηρό βάρος στη μεταχείριση N(1)Cd(40), σε αντίθεση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις στις οποίες ενώ χορηγήθηκε η ίδια ποσότητα αζώτου και μικρότερες συγκεντρώσεις Cd (0 και 20), η αύξηση δεν

ήταν σημαντική. Παρόλα αυτά η προσθήκη του Cd ήταν και εδώ στατιστικά μη σημαντική. Το εύρημα αυτό δεν έρχεται σε συμφωνία με τη μελέτη των Zhao et al. (2021), καθώς σύμφωνα με αυτή η προσθήκη Cd στο έδαφος σε συγκεντρώσεις 20, 50 και 100 ppm προκαλεί μείωση του ποσοστού της βιομάζας των φύλλων των *Sassafras*, καθώς αυξάνεται η χορηγούμενη ποσότητα Cd.

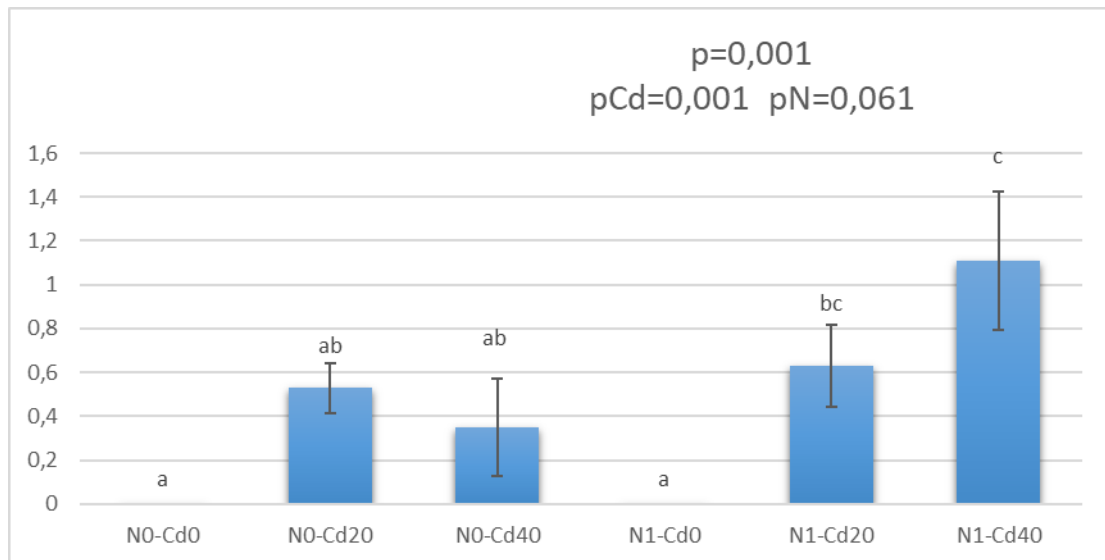


«**Σχήμα 4.** Ξηρό βάρος υπόγειου τμήματος ρίγανης σε g. Οι μεταχειρίσεις φαίνονται στον άξονα x και είναι οι εξής: NO-Cd0 (μάρτυρας), NO-Cd20 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), NO-Cd40 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd0 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και χωρίς προσθήκη Cd), N1-Cd20 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd40 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους)».

Το ξηρό βάρος του υπόγειου τμήματος της ρίγανης ήταν 1,8 g ανά γλάστρα στη μεταχείριση του μάρτυρα και αυξήθηκε στα 2,7 g έπειτα από τη χορήγηση N και Cd στη μεταχείριση N(1)Cd(20). Είναι χαρακτηριστικό ότι στις μεταχειρίσεις που χορηγήθηκε Cd υπήρξε τάση αύξησης του ξηρού βάρους του υπόγειου τμήματος της ρίγανης, όμως η τάση αυτή ήταν στατιστικά σημαντική μόνο στη μεταχείριση N(1)Cd(40), σε σχέση με τη μεταχείριση του μάρτυρα. Σύμφωνα με την two-way ANOVA, βέβαια, η προσθήκη N ήταν εκείνη που οδήγησε σε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων και όχι η προσθήκη Cd.

Σχετικά με το υπόγειο τμήμα του φυτού, η προσθήκη αζώτου φαίνεται πως επιδρά θετικά στο ξηρό βάρος, κάτι που αποδεικνύεται και από τη στατιστική ανάλυση. Είναι χαρακτηριστική η τάση αύξησης του ξηρού βάρους των ριζών στις μεταχειρίσεις που χορηγήθηκε N και ειδικότερα στη μεταχείριση που χορηγήθηκαν ταυτόχρονα 40 ppm Cd. Αυτό συμβαίνει γιατί αρχικά το άζωτο

βοηθάει την ανάπτυξη του φυτού μιας και αποτελεί αναγκαίο θρεπτικό συστατικό του, ενώ ταυτόχρονα επηρεάζει τη μορφολογία και την ανάπτυξη της ρίζας (Xin et al., 2021). Η ποσότητα στην οποία χορηγείται το N όμως πρέπει να είναι προσεγμένη, καθώς σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες η ορθή ποσότητα αζωτούχου λιπάσματος αυξάνει την πυκνότητα και τον αριθμό της ρίζας, σε αντίθεση με την χορήγηση υπερβολικού N που παρεμποδίζει την ανάπτυξη της, καθώς το N είναι πολύ κοντά της και δεν υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω ανάπτυξη. Σύμφωνα με την ίδια μελέτη, η επάρκεια αλλά και η ελαφριά ανεπάρκεια οδηγούν σε ευνοϊκά για τη ρίζα αποτελέσματα (Xin et al., 2021). Προσοχή πρέπει να δοθεί επίσης στο γεγονός πως το Cd δεν επηρεάζει αρνητικά την αύξηση του ξηρού βάρους της ρίζας, συμπέρασμα που έρχεται σε αντιδιαστολή με άλλες μελέτες που αναφέρουν πως το Cd αναστέλλει την επιμήκυνσής της, την αύξηση της διαμέτρου και του πάχους της και φυσικά την αύξηση του ξηρού της βάρους (Yang et al., 2017). Παρόλα αυτά η συμβολή του Cd στην αύξηση του ξηρού βάρους του υπόγειου τμήματος της ρίζανης ήταν μη σημαντική.

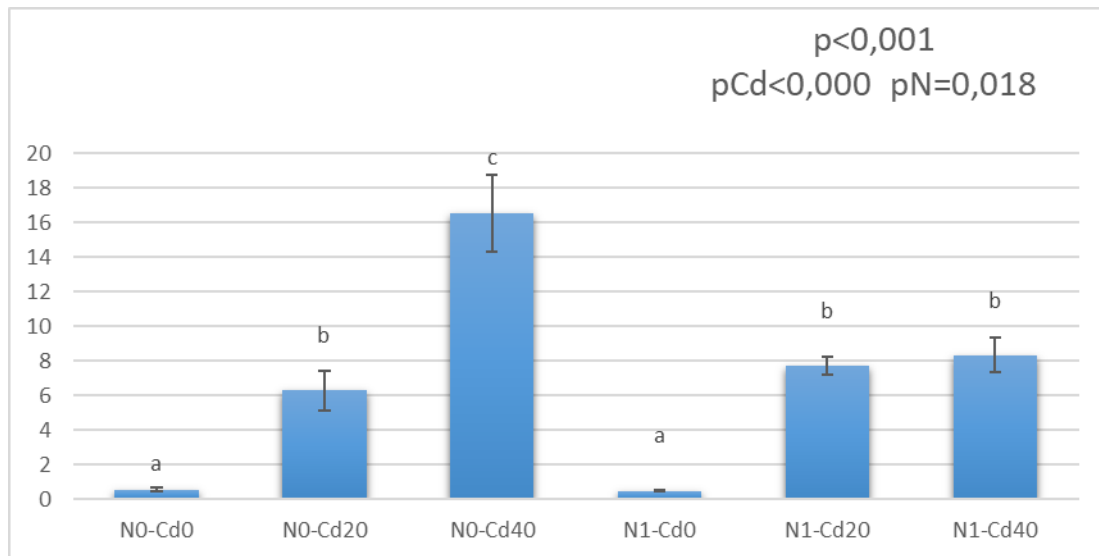


«**Σχήμα 5.** Συγκέντρωση Cd στο υπέργειο τμήμα της ρίγανης σε mg kg^{-1} . Οι μεταχειρίσεις φαίνονται στον άξονα x και είναι οι εξής: N0-Cd0 (μάρτυρας), N0-Cd20 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 20 mg Cd kg^{-1} εδάφους), N0-Cd40 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 40 mg Cd kg^{-1} εδάφους), N1-Cd0 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και χωρίς προσθήκη Cd), N1-Cd20 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 20 mg Cd kg^{-1} εδάφους), N1-Cd40 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 40 mg Cd kg^{-1} εδάφους)».

Η συγκέντρωση του Cd στο υπέργειο τμήμα της ρίγανης ήταν $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ανά γλάστρα στη μεταχείριση N(0)Cd(20) και αυξήθηκε στα $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ έπειτα από τη χορήγηση N, στη μεταχείριση N(1)Cd(20). Η αύξηση αυτή ήταν στατιστικά μη σημαντική, με εξαίρεση την αύξηση που υπήρξε στη μεταχείριση N(1)Cd(40) σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Από την two-way ANOVA προκύπτει πως η αύξηση αυτή οφείλεται στην προσθήκη Cd, με την οποία υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, ενώ η προσθήκη N δεν οδήγησε σε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Συνεχίζοντας με τη συγκέντρωση του Cd στο υπέργειο τμήμα της ρίγανης παρατηρήθηκε αύξηση στις μεταχειρίσεις στις οποίες μαζί με την προσθήκη Cd πραγματοποιήθηκε ταυτόχρονα και προσθήκη N. Στατιστικά σημαντική ήταν η διαφορά μόνο στη μεταχείριση N(1)Cd(40) στην οποία η τιμή αυξήθηκε κατά πολύ, γεγονός που είναι λογικό καθώς χορηγήθηκε η μεγαλύτερη δόση Cd. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί η επίδραση του N στη συγκέντρωση Cd στο

υπέργειο τμήμα, καθώς όπως φαίνεται στο σχήμα 5, στις περιπτώσεις χορήγησης N, το φυτό είχε τη δυνατότητα να συγκρατήσει περισσότερο Cd στο υπέργειο τμήμα του, σε σχέση με τις περιπτώσεις στις οποίες χορηγήθηκε μόνο Cd, χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος. Επομένως το N διευκολύνει την αύξηση των ορίων ανοχής του φυτού στο Cd. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τη διπαραγοντική ανάλυση η επίδραση του N δεν οδήγησε σε στατιστικά σημαντικές μεταβολές. Η αύξηση της συγκέντρωσης του Cd ίσως να οφείλεται στην υψηλή βιοδιαθεσιμότητα και κινητικότητα που χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο στοιχείο, συμπεράσμα το οποίο συμφωνεί με τη μελέτη των Han et al. (2021). Στην περίπτωση που στη θέση του Cd ήταν ο μόλυβδος (Pb), τότε δε θα μπορούσαμε να στηρίξουμε μία ενδεχόμενη αύξηση της συγκέντρωσής του στην κινητικότητά του, καθώς σαν στοιχείο ο Pb κινείται αρκετά αργά. Όσον αφορά το N, η μελέτη των Xiong et al., (2009) καταλήγει στα αντίθετα αποτελέσματα, καθώς υποστηρίζει πως η χορήγηση NO κάνει πιο ανθεκτικά στο Cd τα φυτά ρυζιού, γιατί βελτιώνεται η συγκέντρωση πηκτίνης αλλά και ημικυτταρίνης στις ρίζες, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η περιεκτικότητα του Cd στο υπόγειο τμήμα του φυτού και να μειώνεται στο υπέργειο.

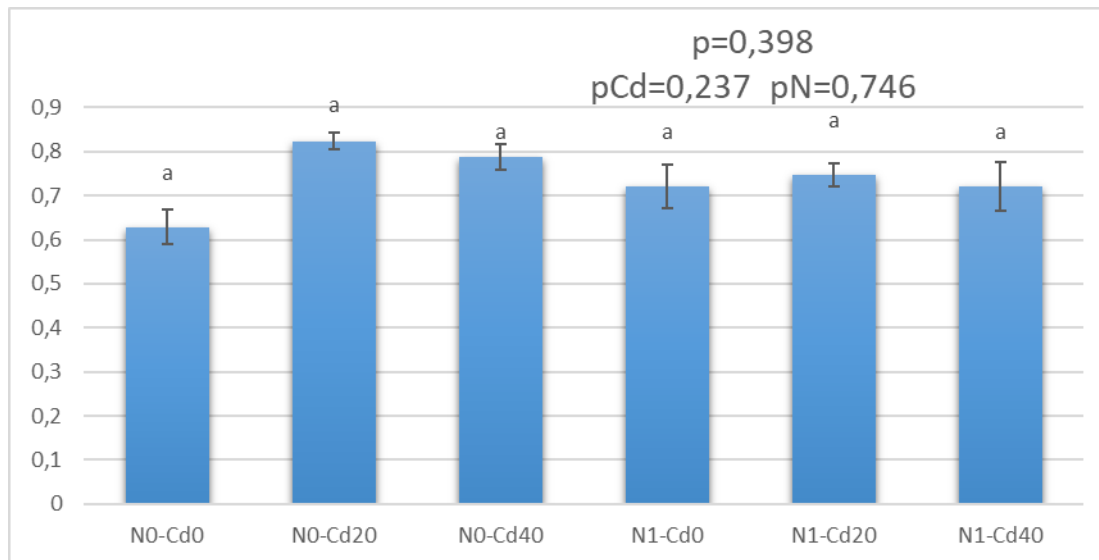


«**Σχήμα 6.** Συγκέντρωση Cd στο υπόγειο τμήμα της ρίγανης σε mg kg^{-1} . Οι μεταχειρίσεις φαίνονται στον άξονα x και είναι οι εξής: N0-Cd0 (μάρτυρας), N0-Cd20 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 20 mg Cd kg^{-1} εδάφους), N0-Cd40 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 40 mg Cd kg^{-1} εδάφους), N1-Cd0 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και χωρίς προσθήκη Cd), N1-Cd20 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 20 mg Cd kg^{-1} εδάφους), N1-Cd40 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 40 mg Cd kg^{-1} εδάφους)».

Η συγκέντρωση του Cd στο υπόγειο τμήμα της ρίγανης ήταν $0,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ανά γλάστρα στη μεταχείριση του μάρτυρα και αυξήθηκε στα 16 mg kg^{-1} έπειτα από χορήγηση Cd, στη μεταχείριση N(0)Cd(40). Είναι χαρακτηριστικό ότι υπήρξε τάση αύξησης της συγκέντρωσης Cd στο υπόγειο τμήμα της ρίγανης στις μεταχειρίσεις χορήγησης Cd, η οποία ήταν στατιστικά σημαντική σε σχέση με τη μεταχείριση του μάρτυρα. Με βάση τα αποτελέσματα της two-way ANOVA, η αύξηση αυτή οφειλόταν τόσο στην προσθήκη Cd όσο και στο N, καθώς, τόσο η μείωση όσο και το δε, οδήγησαν σε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Όπως παρατηρείται από το σχήμα 6, η συγκέντρωση του Cd στο ριζικό σύστημα των φυτών της ρίγανης ήταν αυξημένη σε όλες τις μεταχειρίσεις χορήγησης Cd και ειδικότερα στη μεταχείριση N(0)Cd(40). Η αύξηση αυτή ήταν στατιστικά σημαντική σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχέση με τις περιπτώσεις που

δε χορηγήθηκε καθόλου Cd κάτι που είναι απολύτως λογικό. Αυτό πιθανώς να συνέβη επειδή το Cd κατανέμεται διαφορετικά στα διάφορα σημεία του φυτού, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης στο οποίο βρίσκεται το φυτό. Για παράδειγμα, σύμφωνα με την μελέτη των Yan et al. (2019), η συγκέντρωση του Cd είναι μεγαλύτερη στη ρίζα από ότι στα άλλα τμήματα του σίτου, όταν αυτός βρίσκεται στο στάδιο της άνθησης, το οποίο ήταν και το στάδιο που έγινε και η συγκομιδή της ρίγανης. Κάτι άλλο αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως το N μείωσε τη συγκέντρωση του Cd στο έδαφος, κάτι που είναι λογικό, καθώς νωρίτερα είπαμε πως πιθανότατα το N βοηθά το Cd να προχωρήσει προς το υπέργειο τμήμα του φυτού και να μειωθεί από το υπόγειο. Στη συγκεκριμένη παράμετρο, τόσο η προσθήκη Cd όσο και η προσθήκη N επηρέασε σημαντικά.

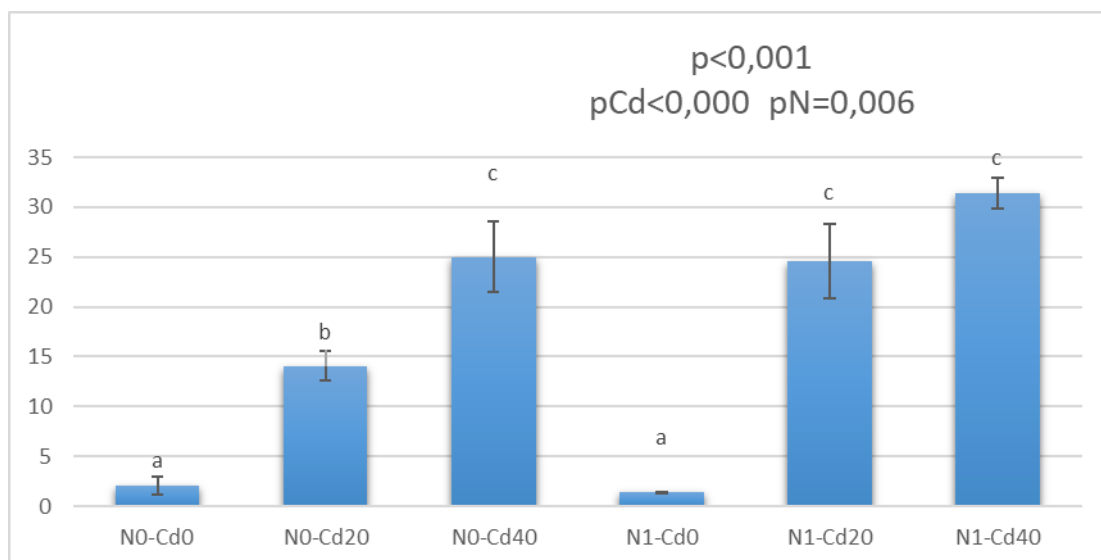


«**Σχήμα 7.** Επί τοις 100 ποσοστό αζώτου υπέργειου τμήματος ρίγανης με τη μέθοδο Kjeldhal. Οι μεταχειρίσεις φαίνονται στον άξονα x και είναι οι εξής: NO-Cd0 (μάρτυρας), NO-Cd20 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), NO-Cd40 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd0 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και χωρίς προσθήκη Cd), N1-Cd20 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd40 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους)».

Το αζώτου του υπέργειου τμήματος ρίγανης ήταν 60% ανά γλάστρα στη μεταχείριση του μάρτυρα και αυξήθηκε στο 70% έπειτα από τη χορήγηση N, στη μεταχείριση N(1)Cd(0). Στις μεταχειρίσεις στις οποίες χορηγήθηκε Cd υπήρξε τάση αύξησης του ποσοστού του αζώτου του υπέργειου τμήματος της ρίγανης, όμως η τάση αυτή ήταν στατιστικά μη σημαντική σε σχέση με το μάρτυρα. Αυτό αποδεικνύεται και με την two-way ANOVA, η οποία δείχνει ότι τόσο με την προσθήκη Cd όσο και με την προσθήκη N δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο ποσοστό του N που κατάφερε να φτάσει στο υπέργειο τμήμα του φυτού.

Σχετικά με τη μέτρηση του ποσοστού N στο υπέργειο τμήμα της ρίγανης μέσω της μεθόδου Kjeldhal καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η προσθήκη N δε δημιούργησε κάποια αξιοσημείωτη διαφορά, καθώς δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ του μάρτυρα και των υπόλοιπων μεταχειρίσεων,

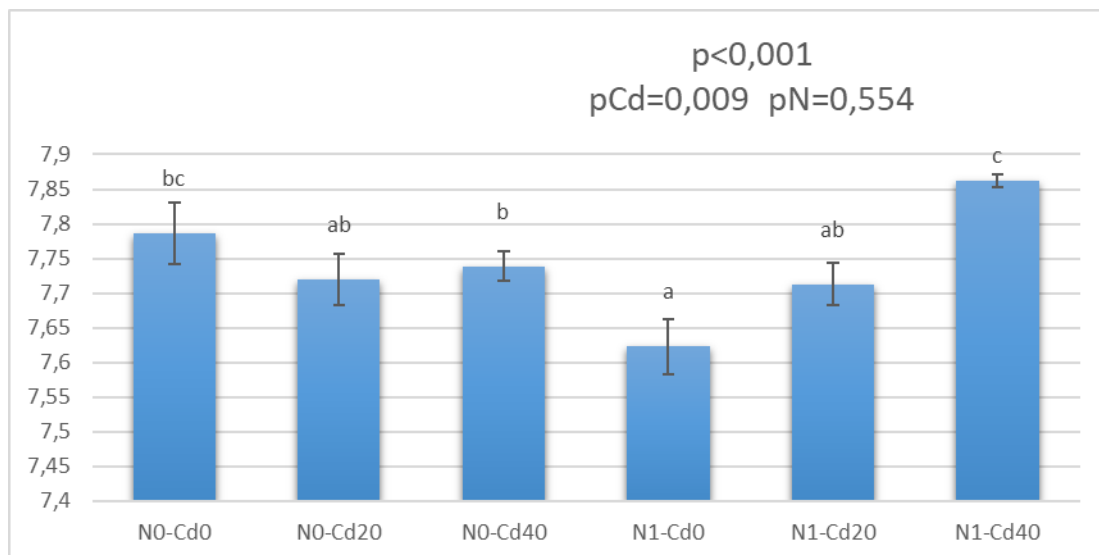
γεγονός που αποδεικνύεται και από τη διπαραγοντική ανάλυση. Αυτό συνέβη προφανώς γιατί οι ποσότητες N που χορηγήσαν στις μεταχειρίσεις $N(1)$ ήταν πάρα πολύ υψηλές για το συγκεκριμένο φυτό και δεν τις χρειαζόταν ούτως ώστε να τις απορροφήσει. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η ρίγανη να πάρει μονάχα όσο N χρειαζόταν και έτσι να προσλάβει τόσο χαμηλή ποσότητα και από τις δύο μεταχειρίσεις που μεταξύ τους δε σημειώθηκε διαφορά. Δηλαδή προκύπτει ότι ακόμα και οι 4 ΛΜΑ που εφαρμόστηκαν στις μεταχειρίσεις $N(0)$ ήταν παραπάνω από αρκετές.



«**Σχήμα 8.** Συγκέντρωση Cd στο έδαφος σε mg kg⁻¹ εκχυλισμένο με τη μέθοδο της Aqua Regia. Οι μεταχειρίσεις φαίνονται στον άξονα x και είναι οι εξής: N0-Cd0 (μάρτυρας), N0-Cd20 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N0-Cd40 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd0 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και χωρίς προσθήκη Cd), N1-Cd20 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd40 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους)».

Η ποσότητα Cd στο έδαφος ήταν 14 mg kg⁻¹ ανά γλάστρα στη μεταχείριση N(0)Cd(20) και αυξήθηκε στα 25 mg kg⁻¹ έπειτα από τη χορήγηση αζώτου, στη μεταχείριση N(1)Cd(20). Είναι χαρακτηριστικό πως στις μεταχειρίσεις χορήγησης Cd υπήρξε τάση αύξησης της ποσότητας Cd στο έδαφος, τάση που ήταν στατιστικά σημαντική σε σχέση με τη μεταχείριση N(0)Cd(20). Σύμφωνα με την two-way ANOVA, τόσο η προσθήκη Cd όσο και η προσθήκη N επηρέασαν τη συγκέντρωση του Cd στο έδαφος, καθώς οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων οφείλονταν και στις δύο.

Από το σχήμα 8 φαίνεται πως παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης Cd στο έδαφος σε mg kg⁻¹ εκχυλισμένο με τη μέθοδο της Aqua Regia, κάτι που είναι λογικό αφού εμείς χορηγήσαμε Cd. Αξιοσημείωτο βέβαια είναι πως η προσθήκη N φάνηκε να βοήθησε περισσότερο την αύξηση της συγκέντρωσης του Cd στο φυτό, ειδικότερα στη μεταχείριση N(1)Cd(20), στην οποία η αύξηση ήταν στατιστικά σημαντική σε σχέση με τη μεταχείριση N(0)Cd(20).

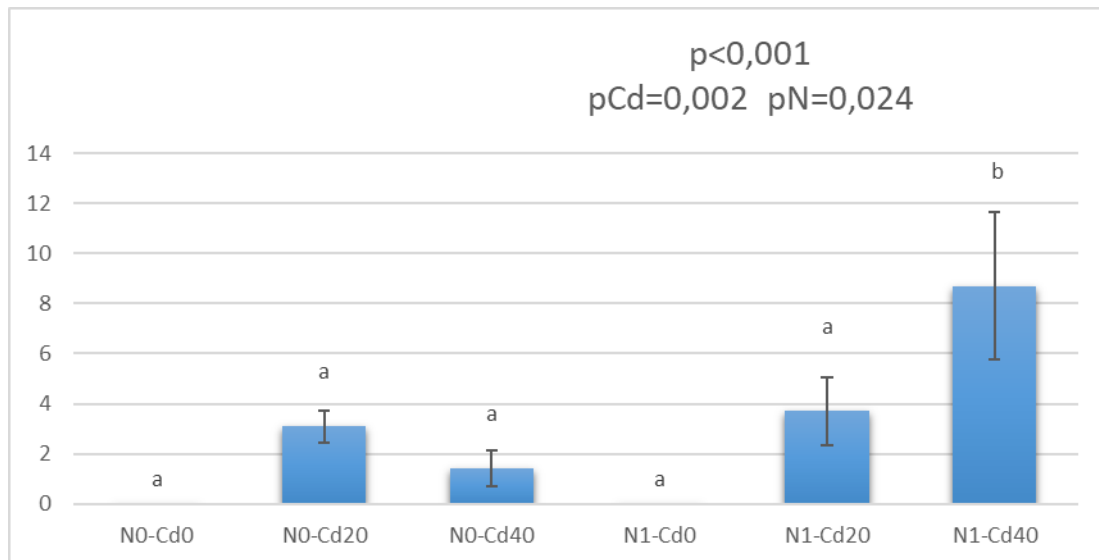


«**Σχήμα 9.** pH στο έδαφος. Οι μεταχειρίσεις φαίνονται στον άξονα x και είναι οι εξής: N0-Cd0 (μάρτυρας), N0-Cd20 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N0-Cd40 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd0 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και χωρίς προσθήκη Cd), N1-Cd20 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd40 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους)».

Το pH του εδάφους ήταν περίπου 7,8 ανά γλάστρα στη μεταχείριση του μάρτυρα και μειώθηκε περίπου στο 7,6 έπειτα από τη χορήγηση N στο έδαφος, στη μεταχείριση N(1)Cd(0). Είναι χαρακτηριστικό πως υπήρξε μια τάση μείωσης της τιμής του pH του εδάφους στις μεταχειρίσεις χορήγησης Cd, με εξαίρεση τη μεταχείριση N(1)Cd(40) στην οποία παρατηρήθηκε αύξηση του pH, η οποία ήταν στατιστικά σημαντική σε σχέση με τις άλλες μεταχειρίσεις πλην της N(0)Cd(0). Η γενικότερη τάση μείωσης ήταν στατιστικά μη σημαντική σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχέση με το μάρτυρα, αλλά όχι στη μεταχείριση N(1)Cd(0) στην οποία η μείωση ήταν στατιστικά σημαντική. Σύμφωνα με την two-way ANOVA, η προσθήκη N δεν οδήγησε σε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, σε αντίθεση με το Cd, το οποίο ήταν και αυτό που σχετιζόταν με τη στατιστικά σημαντική μείωση του pH στη μεταχείριση N(1)Cd(0) σε σχέση με το μάρτυρα.

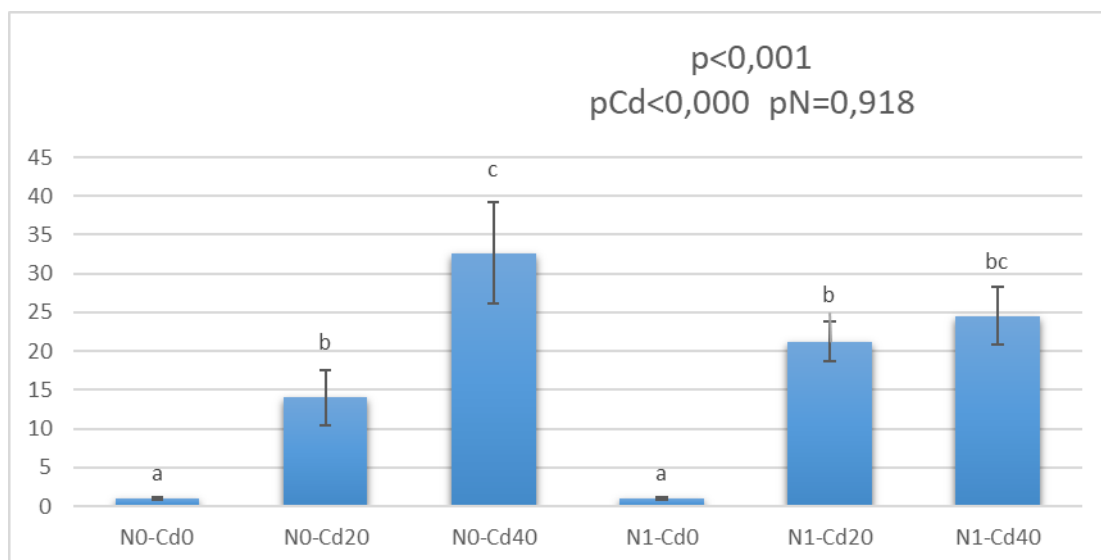
Το pH γενικότερα εμφάνισε τάση μείωσης σε σχέση με το μάρτυρα, η οποία όμως ήταν στατιστικά μη σημαντική, με εξαίρεση τη μεταχείριση N(1)Cd(0).

Παράδοξη, επίσης, είναι η αύξηση του pH στη μεταχείριση N(1)Cd(40). Γνωρίζουμε πως με τη χορήγηση N υπάρχει τάση μείωσης του pH λόγω της δημιουργίας υδρογονοκατιόντων (H^+), μέσω της διαδικασίας της νιτροποίησης. Επομένως καταλαβαίνουμε πως είναι λογική η μείωση του pH και παράδοξη η αύξησή του. Κατά την άποψή μου η σημαντική μείωση του pH στη μεταχείριση N(1)Cd(0) οφείλεται στο γεγονός πως δε χορηγήθηκε Cd, άρα δεν υπήρχε κάποιος περιοριστικός παράγοντας στο έδαφος, ώστε να αποτρέψει τη νιτροποίηση του N. Από την άλλη, η χορήγηση Cd σε συγκέντρωση 20 ppm και ειδικότερα σε 40 ppm, πιθανόν να δημιούργησε πρόβλημα ή να δηλητηρίασε τα νιτροποιητικά βακτήρια, με αποτέλεσμα να έγινε λιγότερη νιτροποίηση και έτσι να εκλύθηκε λιγότερη οξύτητα. Με το συμπέρασμα αυτό έρχεται να συμφωνήσει η έρευνα των Jia et al. (2021), με βάση την οποία το Cd δημιουργεί προβλήματα στην οξείδωση αμμωνίου και μειώνει τον αριθμό των μικροοργανισμών που συμβάλλουν στη νιτροποίηση.



«**Σχήμα 10.** Πρόσληψη Cd από το υπέργειο τμήμα της ρίγανης σε μg. Οι μεταχειρίσεις φαίνονται στον άξονα x και είναι οι εξής: N0-Cd0 (μάρτυρας), N0-Cd20 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N0-Cd40 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd0 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και χωρίς προσθήκη Cd), N1-Cd20 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd40 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους)».

Η πρόσληψη Cd από το υπέργειο τμήμα της ρίγανης ήταν 3 μg ανά γλάστρα στη μεταχείριση N(0)Cd(20) και αυξήθηκε στα 3,9 μg έπειτα από τη χορήγηση N, στη μεταχείριση N(1)Cd(20). Η αύξηση στις μεταχειρίσεις αυτές δεν ήταν σημαντική στατιστικά. Όμως, είναι χαρακτηριστικό πως σημειώθηκε αύξηση και μεταξύ των μεταχειρίσεων στις οποίες χορηγήθηκε η μεγαλύτερη ποσότητα Cd, καθώς από 1,2 μg περίπου στη μεταχείριση N(0)Cd(40), η πρόσληψη Cd από το υπέργειο τμήμα της ρίγανης αυξήθηκε σε 9 μg ανά γλάστρα στη μεταχείριση N(1)Cd(40). Αντίθετα με πριν, η αύξηση στις μεταχειρίσεις αυτές ήταν στατιστικά σημαντική. Με βάση τα αποτελέσματα της two-way ANOVA, τόσο η προσθήκη Cd όσο και η προσθήκη N συνέβαλλαν στη δημιουργία στατιστικά σημαντικής αύξησης στη μεταχείριση N(1)Cd(40).

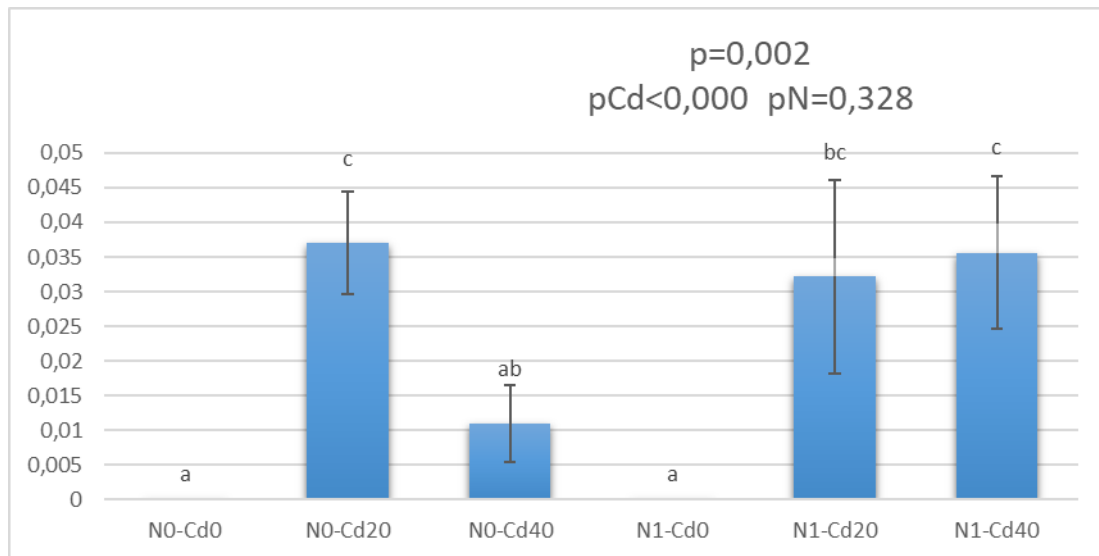


«**Σχήμα 11.** Πρόσληψη Cd από το υπόγειο τμήμα της ρίγανης σε μg. Οι μεταχειρίσεις φαίνονται στον άξονα x και είναι οι εξής: N0-Cd0 (μάρτυρας), N0-Cd20 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N0-Cd40 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd0 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και χωρίς προσθήκη Cd), N1-Cd20 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd40 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους)».

Η πρόσληψη Cd από το υπόγειο τμήμα της ρίγανης ήταν 14 μg ανά γλάστρα στη μεταχείριση N(0)Cd(20) και αυξήθηκε σε 33 μg έπειτα από τη χορήγηση της μέγιστης δόσης Cd στη μεταχείριση N(0)Cd(40). Η αύξηση αυτή ήταν στατιστικά σημαντική, σε αντίθεση με τις με τις μεταχειρίσεις N(1)Cd(20) και N(1)Cd(40), που και πάλι υπήρξε αύξηση από τη μεν στη δε αλλά ήταν στατιστικά μη σημαντική. Μη σημαντική στατιστικά ήταν, επίσης, η αύξηση της πρόσληψης του Cd από το υπόγειο τμήμα της ρίγανης στις μεταχειρίσεις που χορηγήθηκε και N και Cd, σε σχέση με τη μεταχείριση N(0)Cd(20). Σύμφωνα με την two-way ANOVA τώρα, οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων οφείλονται μόνο στην προσθήκη Cd, ενώ η προσθήκη N δε δημιούργησε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Η πρόσληψη Cd από τα φυτά της ρίγανης αφορά την ποσότητα που κατάφεραν να συσσωρεύσουν στο υπέργειο τμήμα τους. Γενικά υπήρξε αύξηση της

ποσότητας του Cd στις μεταχειρίσεις που χορηγήθηκε N και Cd, εύρημα που είναι απολύτως λογικό, καθώς μέσω της χορήγησης N αυξήθηκε η βιομάζα του φυτού, μέσω της χορήγησης Cd αυξήθηκε η συγκέντρωση Cd και έτσι αυξήθηκε και η ποσότητα που μπορεί να συγκρατήσει το φυτό. Με το εύρημα αυτό έρχονται να συμφωνήσουν πρόσφατες μελέτες, οι οποίες αποδεικνύουν τη συσχέτιση της αυξημένης βιομάζας με την υψηλότερη πρόσληψη Cd από το φυτό (Antoniadis et al., 2021).

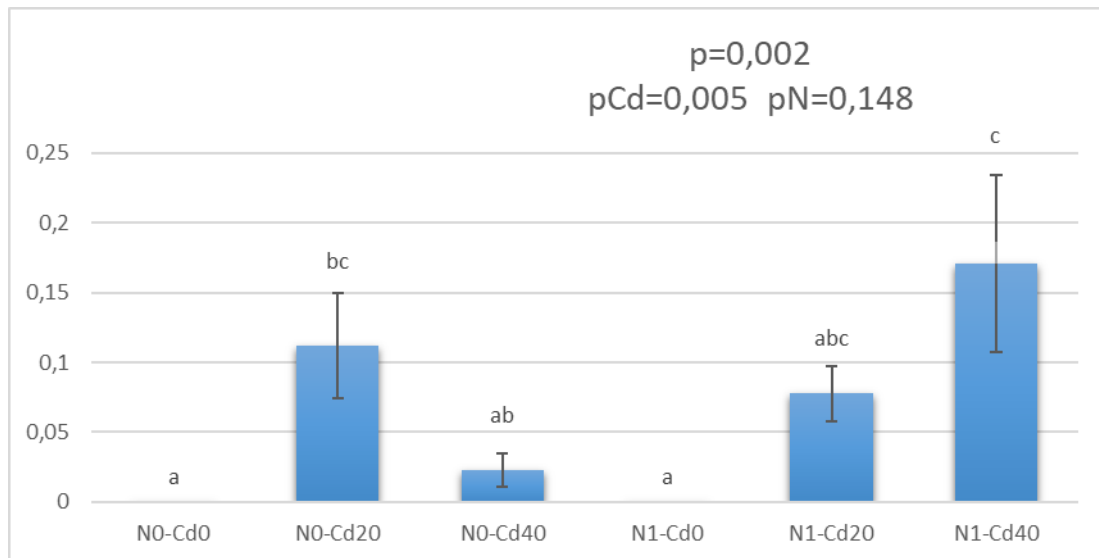


«**Σχήμα 12.** Συντελεστής μεταφοράς (TC) Cd από το έδαφος στο υπέργειο τμήμα της ρίγανης. Οι μεταχειρίσεις φαίνονται στον άξονα x και είναι οι εξής: N0-Cd0 (μάρτυρας), N0-Cd20 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N0-Cd40 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd0 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και χωρίς προσθήκη Cd), N1-Cd20 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd40 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους)».

Ο συντελεστής μεταφοράς (TC) Cd από το έδαφος στο υπέργειο τμήμα της ρίγανης ήταν 0,35 στη μεταχείριση που χορηγήθηκε μεσαία συγκέντρωση Cd, δηλαδή στη N(0)Cd(20) και μειώθηκε στο 0,1 έπειτα από τη χορήγηση της μέγιστης ποσότητας Cd στη μεταχείριση N(0)Cd(40). Η μείωση αυτή παρουσίαζε στατιστικά σημαντική διαφορά. Αντίθετα, ο συντελεστής μεταφοράς ήταν 0,32 στη μεταχείριση που χορηγήθηκε N και μεσαία συγκέντρωση Cd, δηλαδή στη N(1)Cd(20) και αυξήθηκε σε 0,35 έπειτα από τη χορήγηση N αλλά και της μεγαλύτερης ποσότητας Cd στη μεταχείριση N(1)Cd(40). Παρόλα αυτά η αύξηση ήταν στατιστικά μη σημαντική. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων βέβαια, σύμφωνα με την two-way ANOVA, οφείλονται στην προσθήκη Cd, ενώ προσθήκη N δε φάνηκε να επηρέασε σημαντικά τον συντελεστή μεταφοράς.

Όσον αφορά το συντελεστή μεταφοράς (TC) Cd από το έδαφος προς το υπέργειο τμήμα βλέπουμε πως υπάρχει σημαντική πτώση του στη μεταχείριση

N(0)Cd(40), σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις στις οποίες χορηγήθηκε Cd. Στις μεταχειρίσεις N(1)Cd(20) και N(1)Cd(40) όμως παρατηρείται σταθερότητα κάτι που είναι αξιοσημείωτο. Γενικότερα, σύμφωνα με τους Antoniadis et al. (2017), έχει βρεθεί πως όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του Cd στο έδαφος, τόσο αυξάνεται και η συγκέντρωση του στο φυτό. Παρόλα αυτά κάθε φυτό έχει τη δυνατότητα να προσλαμβάνει μέχρι μία συγκεκριμένη συγκέντρωση Cd και μετά επέρχεται κορεσμός, είτε χορηγηθεί N είτε όχι. Έτσι, μετά από ένα σημείο θα μειώνεται ο ρυθμός αύξησης της συγκέντρωσης του Cd και αυτό οδηγεί σε μείωση και του συντελεστή TC. Βέβαια, όπως έχουμε αναφέρει και νωρίτερα, το N αυξάνει τη ζωτικότητα του φυτού και το βοηθάει να συγκρατεί περισσότερο Cd, άρα γίνεται κατανοητό ότι ο συντελεστής μεταφοράς TC θα είναι μεγαλύτερος στις μεταχειρίσεις που χορηγήθηκε N. Με βάση όλα τα παραπάνω καταλήγουμε πως, σχετικά με τις μεταχειρίσεις N(0), καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση Cd και μεν το φυτό θα πάρει περισσότερο Cd, αλλά ο ρυθμός αύξησης βαίνει μειούμενος και έτσι το TC μειώνεται. Με το συμπέρασμα αυτό συμφωνούν και οι Antoniadis et. al, (2016). Από την άλλη, σχετικά με τις μεταχειρίσεις N(1), καταλαβαίνουμε πως με τη βοήθεια του N τα φυτά της ρίγανης κατάφεραν να συγκρατήσουν περισσότερο Cd και ακόμη και στην περίπτωση χορήγησης 40 ppm Cd, το TC παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα. Η προσθήκη N βέβαια, σύμφωνα με τη διπαραγοντική ανάλυση, δεν βοήθησε σημαντικά. Παρόλα αυτά, για να θεωρηθεί ένα φυτό ωφέλιμο για φυτοαποκατάσταση θα πρέπει ο TC να προσεγγίζει το 1, κάτι που στη συγκεκριμένη περίπτωση δε συμβαίνει.



«**Σχήμα 13.** Συντελεστής μετατόπισης (TF) Cd από τη ρίζα στο υπέργειο τμήμα της ρίγανης. Οι μεταχειρίσεις φαίνονται στον άξονα x και είναι οι εξής: N0-Cd0 (μάρτυρας), N0-Cd20 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N0-Cd40 (χωρίς προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος και με προσθήκη 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd0 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και χωρίς προσθήκη Cd), N1-Cd20 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 20 mg Cd kg⁻¹ εδάφους), N1-Cd40 (με προσθήκη 34 λιπαντικών μονάδων αζώτου και 40 mg Cd kg⁻¹ εδάφους)».

Ο συντελεστής μετατόπισης (TF) Cd από τη ρίζα στο υπέργειο τμήμα της ρίγανης ήταν 0,11 στη μεταχείριση που χορηγήθηκε μεσαία συγκέντρωση Cd, δηλαδή στη N(0)Cd(20) και μειώθηκε στο 0,025 έπειτα από τη χορήγηση της μέγιστης ποσότητας Cd στη μεταχείριση N(0)Cd(40). Η μείωση αυτή ήταν στατιστικά μη σημαντική. Αντίθετα, στις μεταχειρίσεις που χορηγήθηκε N, ο συντελεστής μετατόπισης ήταν 0,075 στη μεταχείριση N(1)Cd(20) και αυξήθηκε στο 0,175 έπειτα από τη χορήγηση N και της μεγαλύτερης ποσότητας Cd στη μεταχείριση N(1)Cd(40), αλλά και πάλι η αύξηση ήταν στατιστική μη σημαντική. Στατιστικά σημαντική ήταν μόνο η αύξηση μεταξύ των μεταχειρίσεων N(0)Cd(40) και N(1)Cd(40). Σύμφωνα με την two-way ANOVA, η αύξηση του συντελεστή μετατόπισης οφείλεται μόνο στην προσθήκη Cd, εξαιτίας της οποίας δημιουργήθηκαν και οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, ενώ το N φάνηκε πως δε συνέβαλλε καθόλου.

Όσον αφορά το συντελεστή μετατόπισης (TF) Cd από τη ρίζα στο υπέργειο τμήμα της ρίγανης τα αποτελέσματα ήταν όμοια με αυτά του συντελεστή μεταφοράς (TC). Έτσι, αυτό που συνέβη ήταν ότι, ομοίως με πριν, η χορήγηση N ευνόησε τη μετατόπιση Cd από τη ρίζα στο υπέργειο τμήμα και για αυτό βρέθηκε περισσότερο στη μεταχείριση N(1)Cd(40). Ομοίως με το συντελεστή μεταφοράς, δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, οι οποίες να οφείλονταν στην προσθήκη N. Παρόλα αυτά η τιμή του συντελεστή μετατόπισης είναι και πάλι πολύ κάτω από το 1 και άρα η ρίγανη δεν αποτελεί υπερσυσσωρευτή Cd και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για φυτοαποκατάσταση.

Κεφάλαιο 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η ρίγανη δεν αποτελεί φυτό «υπερσυσσωρευτή», καθώς ο συντελεστής μεταφοράς (TC) και ο συντελεστής μετατόπισης (TF) δεν προσεγγίζουν την τιμή 1, η οποία υποδηλώνει την καταλληλότητα ενός φυτού για χρήση στη φυτοαποκατάσταση εδαφών μολυσμένων από βαρέα μέταλλα.
2. Η χορήγηση Cd δεν επηρέασε την ανάπτυξη των φυτών της ρίγανης και το ξηρό τους βάρος αυξήθηκε τόσο στο υπέργειο όσο και στο υπόγειο τμήμα.
3. Το N έκανε τα φυτά της ρίγανης πιο ζωτικά και έτσι αυτά μπόρεσαν να συκρατήσουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cd στο υπέργειο και υπόγειο τμήμα τους, μειώνοντας έτσι τις αρνητικές επιδράσεις του Cd και αυξάνοντας τα όρια ανοχής των φυτών προς αυτό. Βέβαια, σε καμία περίπτωση δεν είναι αναγκαία μία τόσο μεγάλη ποσότητα N, καθώς όπως έχει ήδη αναφερθεί χορηγήθηκε μονάχα για λόγους διευκόλυνσης της μελέτης της δυναμικής του καδμίου και όχι για λόγους ορθής αγρονομικής διαχείρισης της ρίγανης.
4. Το N ευνόησε και τη συσσώρευση μεγαλύτερης ποσότητας (μg) Cd στα φυτά της ρίγανης, λόγω της αυξημένης βιομάζας που εμφάνισαν τα φυτά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΕΣ

1. Antoniadis, V. et al., 2017. Trace elements in the soil-plant interface: Phytoavailability, translocation, and phytoremediation—A review. *Earth-Science Reviews*, vol. 171, pp: 621-645. (<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85026867624&origin=resultslist>)
2. Antoniadis, V. et al., 2019a. A critical prospective analysis of the potential toxicity of trace element regulation limits in soils worldwide: Are they protective concerning health risk assessment? - A review. *Environment International*, vol. 127, pp: 819-847. (<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.039>)
3. Antoniadis, V. et al., 2019b. Soil and maize contamination by trace elements and associated health risk assessment in the industrial area of Volos, Greece. *Environment International*, vol. 124, pp. 79-88. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018320002?via%3Dihub>)
4. Antoniadis, V. et al., 2021. Phytoremediation potential of twelve wild plant species for toxic elements in a contaminated soil. *Environment International*, vol. 146. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020321887?via%3Dihub>)
5. Antoniadis, V. & Alloway, B.J., 2001. Availability of Cd, Ni and Zn to Ryegrass in Sewage Sludge-Treated Soils at Different Temperatures. *Water, Air, And Soil Pollution*, vol. 132, pp: 201-214. (<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1013202104550>)
6. Antoniadis, V. & Golia, E., 2020. Spatial and temporal assessment of cadmium and chromium contamination in soils in the Karditsa region (Central Greece). *Environmental Science and Pollution Research*. (θα βοηθήσει και στα αποτελέσματα)
7. Antoniadis, V. & McKinley, J.D, 2003. Measuring heavy metal migration rates in a low-permeability soil. *Environmental Chemistry Letters*, vol. 1, pp: 103-106. (<https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-002-0019-y>)

8. El-Naggar, A., et al., 2018. Biochar affects the dissolved and colloidal concentrations of Cd, Cu, Ni, and Zn and their phytoavailability and potential mobility in a mining soil under dynamic redox-conditions. *Science of The Total Environment*, vol. 624, pp: 1059-1071. (<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.190>)
9. Guney, M., et al., 2010. Exposure assessment and risk characterization from trace elements following soil ingestion by children exposed to playgrounds, parks and picnic areas. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 182(1-3), pp: 656-664. (<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.06.082>)
10. Han, Y. et al. (2021). Iron and copper micronutrients influences cadmium accumulation in rice grains by altering its transport and allocation. *Science of The Total Environment*, vol. 777.
11. Hu, H. et al., 2021. Low-level environmental lead and cadmium exposures and dyslipidemia in adults: Findings from the NHANES 2005–2016. *Journal of Trace in Medicine and Biology*, vol 63. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0946672X20302169?via%3Dihub>)
12. Huang, J., Guo, S., et al., 2018. A new exploration of health risk assessment quantification from sources of soil heavy metals under different land use. *Environmental pollution*, vol. 243, pp: 49-58. (<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.038>)
13. Jia, X. et al., 2021. Effects of cadmium on soil nitrification in the rhizosphere of *Robinia pseudoacacia* L. seedlings under elevated atmospheric CO₂ scenarios. *Science of The Total Environment*, vol. 772. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721000899?via%3Dihub#bb0190>)
14. Jiang, H., et al., 2020. Characterizing pollution and source identification of heavy metals in soils using geochemical baseline and PMF approach. *Scientific Reports*, 10(1), 6460. (<https://doi.org/10.1038/s41598-020-63604-5>)
15. Khanam, R. et al., 2020. Metal(loid)s (As, Hg, Se, Pb and Cd) in paddy soil: Bioavailability and potential risk to human health. *Science of The*

- Total Environment, vol. 699, 134330.
(<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134330>)
16. Kumar, A. et al., 2021. Bio-remediation approaches for alleviation of cadmium contamination in natural resources. *Chemosphere*, vol. 268.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520330538?via%3Dihub>)
 17. Li, F., et al., 2013. Spatial risk assessment and sources identification of heavy metals in surface sediments from the Dongting Lake, Middle China. *Exploration*, vol.132, pp: 75-83.
(<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.05.007>)
 18. Li, F., et al., 2018. Spatial Characteristics, Health Risk Assessment and Sustainable Management of Heavy Metals and Metalloids in Soils from Central China. *MDPI*, vol. 10(1), pp: 91.
(<https://doi.org/10.3390/su10010091>)
 19. Li, Z. et al., 2014. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. *Science of The Total Environment*, vol. 468-469, pp. 843-853.
(<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.090>)
 20. Liu, X. et al., 2013. Human health risk assessment of heavy metals in soil–vegetable system: A multi-medium analysis. *Environment*, vol. 463-464, pp: 530-540. (<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.064>)
 21. Luo, X., et al., 2015. Source identification and apportionment of heavy metals in urban soil profiles. *Chemosphere*, vol. 127, pp: 152-157.
(<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.01.048>)
 22. Nicholson, F., et al., 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science of The Total Environment*, vol. 311(1-3), pp: 205-219.
([https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00139-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00139-6))
 23. Nriagu, J.O., 1989. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. *Nature*, vol. 338 (6210), pp. 47-49.
 24. Ogundele, D. et al., 2015. Heavy Metal Concentrations in Plants and Soil along Heavy Traffic Roads in North Central Nigeria. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 5:6. ([heavy-metal-concentrations-in-](#))

[plants-and-soil-along-heavy-traffic-roadsin-north-central-nigeria-2161-0525-1000334.pdf](#))

25. Pan, J. et al., 2009. Cadmium levels in Europe: implications for human health. *Environmental Geochemistry and Health*, vol. 32. (<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10653-009-9273-2>)
26. Rinklebe, J., 2019. Health risk assessment of potentially toxic elements in soils along the Central Elbe River, Germany. *Environment International*, vol. 126, pp. 76-88.
27. Sekeroglu, N. et al., 2007. Determination of cadmium and selected micronutrients in commonly used and traded medicinal plants in Turkey. *Science of Food and Agriculture*.
28. Shaheen S.M, et al., 2017. Various soil amendments and environmental wastes affect the (im)mobilization and phytoavailability of potentially toxic elements in a sewage effluent irrigated sandy soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 142, pp: 375-387. (<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.04.026>) ??
29. Shaheen S.M, et al., 2017. Soil contamination by potentially toxic elements and the associated human health risk in geo- and anthropogenic contaminated soils: A case study from the temperate region (Germany) and the arid region (Egypt). *Environmental Pollution*, vol. 262.
30. Sangsuwan, P. & Prapagdee, B., 2021. Cadmium phytoremediation performance of two species of Chlorophytum and enhancing their potentials by cadmium-resistant bacteria. *Environmental Technology & Innovation*, vol. 21.
31. Szolnoki, Z., Farsang, A. & Puskás, I., 2013. Cumulative impacts of human activities on urban garden soils: origin and accumulation of metals. *Environmental Pollution*, vol. 177, pp: 106-115. (<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.007>)
32. Uddin, M. et al., 2020. Cadmium accumulation, subcellular distribution and chemical fractionation in hydroponically grown *Sesuvium portulacastrum* [Aizoaceae]. *Plos one*. (<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0244085>)

33. World Health Organization (WHO), 2010. Exposure to Cadmium: a Major Public Health Concern.
34. Xin, W. et al., 2021. Adaptation Mechanism of Roots to Low and High Nitrogen Revealed by Proteomic Analysis. *Rice*, vol. 14. (<https://thericejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s12284-020-00443-y>)
35. Xiong, J. et al., 2009. Exogenous nitric oxide enhances cadmium tolerance of rice by increasing pectin and hemicellulose contents in root cell wall. *Planta*, vol. 230, pp: 755-765. (<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00425-009-0984-5>)
36. Yang, X. et al., 2017. Morphological and Physiological Responses of Plants to Cadmium Toxicity: A Review. *Pedosphere*, vol. 27, pp: 421-438. (https://www.researchgate.net/publication/317586596_Morphological_and_Physiological_Responses_of_Plants_to_Cadmium_Toxicity_A_Review)
37. Yotsova, E. et al., 2020. Effects of cadmium on two wheat cultivars depending on different nitrogen supply. *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 155, pp: 789-799. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942820303235?via%3Dihub>)
38. Zhang, Z., 2021. Split nitrogen fertilizer application improved grain yield in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) via modulating antioxidant capacity and ¹³C photosynthate mobilization under water-saving irrigation conditions. *Ecological Processes*, vol. 10. (<https://ecologicalprocesses.springeropen.com/articles/10.1186/s13717-021-00290-9>)
39. Zhao, H. et al., 2021. Effects of cadmium stress on growth and physiological characteristics of sassafras seedlings. *Scientific Reports*, vol. 11. (<https://www.nature.com/articles/s41598-021-89322-0#Tab1>)

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αντωνιάδης, Β., 2001. Ρύπανση εδαφών: Αιτίες και τρόποι αντιμετώπισης. Σημειώσεις του μαθήματος: ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑ: ΤΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.
2. Κατσιώτης, Σ. και Χατζοπούλου, Π., 2019. Αρωματικά Φαρμακευτικά Φυτά και Αιθέρια Έλαια. Εκδόσεις Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη. Κεφ. 23, σελ. 517-525.
3. Κουτσός, Θ., 2006. Αρωματικά και Φαρμακευτικά Φυτά. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 249-258.
4. Κωστάκος, Ε., 2017. Μελέτη της επίδρασης της ρύπανσης μολύβδου σε καλλιέργεια ρίγανης (*Origanum vulgare*) και της συμπεριφοράς της ως υπερσυσσωρευτή μολύβδου. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
5. Μαλούπα, Ε., Γρηγοριάδου, Κ., Λάζαρη, Δ. και Κρίγκας, Ν., 2013. Καλλιέργεια, μεταποίηση και διασφάλιση ποιότητας των ελληνικών Αρωματικών Φαρμακευτικών φυτών, Βασικές αρχές καθετοποιημένης παραγωγής. Καβάλα, σελ 57-58.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

1. Ευσταθίου Κωνσταντίνος, 2020. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Χημείας. Τελευταία πρόσβαση 20 Δεκεμβρίου 2020. Διαθέσιμο στο: http://195.134.76.37/quali/quali_menu.htm.